بسم الله الرحمن الرحیم

شیمی (۳)

و

آزمایشگاه

برهم کنش میان مواد

سال سوم دبیرستان

رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

۱۳۹۲

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری**

نام کتاب : **شیمی (۳) و آزمایشگاه ـ ۲۵۷/۱**

مؤلفان : **احمد روح‌الهی، سیف‌الله جلیلی، دوست‌محمد سمیعی و نعمت‌الله ارشدی**

بازنگری و اصلاح : **عابد بدریان، غلامعباس پارسافر، سیف‌الله جلیلی، حسن حذرخانی و علیرضا عابدین**

دبیران شیمی همکار و مشاور : **راضیه بنکدارسخی، مهدیه سالارکیا، معصومه شاه‌محمدی‌اردبیلی، فرشاد صیرفی‌زاده، منصور مختاری و فیروزه منتظری**

ویراستار علمی : **حسن حذرخانی**

ویراستار ادبی : **سید علی‌اکبر میرجعفری**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش(شهیدموسوی)

تلفن : ۹ـ ۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : **سیّداحمد حسینی**

طراح جلد : **مریم کیوان**

رسام : **فاطمه رئیسیان فیروزآباد، مریم دهقان‌زاده**

صفحه‌آرا : **زهره بهشتی شیرازی**

حروفچین : **فاطمه باقری‌مهر**

مصحح : **رعنا فرج‌زاده‌دروئی، زهرا رشیدی‌مقدم**

امور آماده‌سازی خبر : **اعظم هاشمی**

امور فنی رایانه‌ای : **حمید ثابت کلاچاهی، پیمان حبیب‌پور**

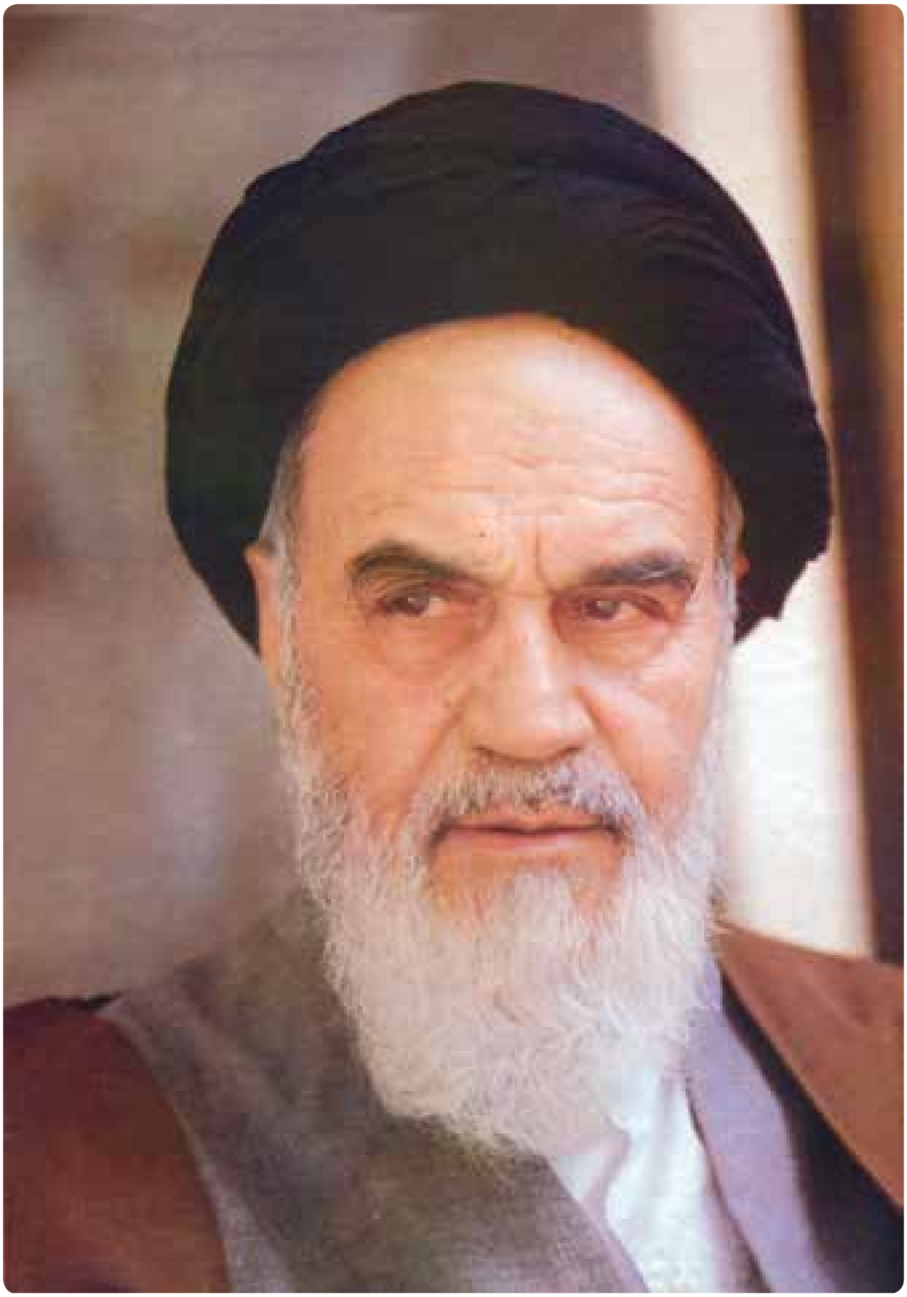
ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)**

تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ یازدهم ۱۳۹۲**

شابک ۵ ۱۳۵۵ ۰۵ ۹۶۴   ISBN 964 05 1355 5



من در اینجا به جوانان عزیز کشورمان، به این سرمایه‌ها و ذخیره‌های عظیم الهی و به این گل‌های معطر و نوشکفتهٔ جهان اسلام سفارش می‌کنم که قدر و قیمت لحظات شیرین زندگی خود را بدانید و خودتان را برای یک مبارزهٔ علمی و عملی بزرگ تا رسیدن به اهداف عالی انقلاب اسلامی آماده کنید.

امام خمینی (رحمة‌اللّه علیه)

معلّمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار (Email) talif@talif.sch ir ارسال نمایند.

دفتر تألیف کتاب های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

فهرست

سخنی با شما دانش‌آموز عزیز

کتابی که پیش روی شماست مجموعه‌ای شامل سه بخش مهم از دانش شیمی است. بخش‌هایی که **اصل بر هم‌کنش میان مواد**، وجه مشترک مفاهیم بیان شده در آنهاست. در تألیف این کتاب تلاش شده است تا از طریق ارائهٔ فعالیت‌های ذهنی و عملی متعدد و بیان برخی مطالب جذاب و انگیزاننده، زمینه برای درک عمیق مفاهیم ارائه شده در هر بخش فراهم آید. اگرچه مفاهیم موجود در این کتاب کم‌شمار است، ولی مشارکت فعال شما در فعالیت‌های فردی یا گروهی درون یا برون کلاس و ارائهٔ دستاوردهای آنها در کلاس می‌تواند محتوای کتاب را هرچه بیشتر پربار کند. درواقع انتظار می‌رود که طی سال تحصیلی شما از طریق همکاری با همکلاسی‌ها و معلم گرانقدرتان افزون بر محتوای موجود در کتاب، محتوایی فراگیرتر و کامل‌تر تولید کنید و به این ترتیب با مشارکت فعال در فرایند یاددهی ـ یادگیری در کنار فراگیری دانش لازم در این سطح، بار دیگر تلاش کنید تا به جای یادگیری تعداد اندکی مفاهیم علمی از پیش تعریف‌شده، آموختن روش یادگیری را سرلوحهٔ کار خود قرار دهید. امید است چنین کنید.

در ضمن یادآور می‌شود که تدریس و یادگیری همهٔ مطالب ارائه شده در کتاب **الزامی** است ولی به معلمان محترم توصیه شده است از بخش‌های **بیشتر بدانید و آزمایش کنید فقط** در ارزشیابی‌های درون کلاسی (ارزشیابی مستمر) پرسش طرح کنند. علاوه‌براین، حفظ‌کردن کامل معادله‌های شیمیایی و اطلاعات داده شده در متن خود را بیازمایید، نمونهٔ حل شده و فکر کنید، جزء هدف‌های این کتاب نیست و نباید در ارزشیابی پایانی و کنکور بیاید. همچنین استفاده از ماشین‌حساب ساده و جدول تناوبی عنصرها در امتحان‌های پایانی این درس مانعی ندارد.

گروه شیمی دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

از اظهار نظر شما عزیزان پیرامون ساختار و محتوای این کتاب به گرمی استقبال می‌کند و در پایگاه اینترنتی خود به آدرس **chemistry–dept.talif.sch.ir** چشم‌انتظار آنها می‌ماند.

بخش ۱

واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری



گندم مانند همهٔ گیاهان برای رشد به منابع معدنی نیز نیاز دارد. افزودن منابع معدنی به صورت کودهای شیمیایی، سبب افزایش مقدار و کیفیت محصول می‌شود.

اگر با دقت به اطراف خود بنگریم، درمی‌یابیم که شیمی هر لحظه و هرجا در اطراف ما جریان دارد. شیمی کانون تمام تلاش‌هایی است که منجر به تولید مواد جدید از جمله داروهای ضد سرطان، سوخت‌های دوستدار محیط زیست، موادّ هوشمند و انواع لوازم الکترونیکی (مانند LED و تلفن‌های همراه)، سفینه‌های فضایی و ... می‌شود. پیشرفت و گسترش شیمی می‌تواند سبب رشد و شکوفایی علوم دیگر مانند اقتصاد، پزشکی، کشاورزی، نظامی، زیست‌محیطی و ... شود.

در هزارهٔ سوم میلادی یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش روی کشورهای جهان، تأمین غذاست.

گندم مهم‌ترین مادهٔ غذایی است که اغلب کشورها تلاش می‌کنند تا در تولید آن به خودکفایی برسند. از این رو، کشاورزان برای تولید گندمِ بیشتر و مرغوب‌تر، سالانه از مقدار زیادی کود شیمیایی و انواع آفت‌کش استفاده می‌کنند.



در برخی از کشورها، آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی، به‌طور مستقیم به خاک تزریق می‌کنند.

LED مخفف شده عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود نشردهندهٔ نور است.

در کشور ما نیز برای رسیدن به خودکفایی در تولید گندم، برنامه‌های مناسبی اجرا می‌شود. در سال ۱۳۹۰، کشاورزان ایرانی تقریباً ۱۴ میلیون تن گندم تولید کردند.

حال این پرسش‌ها مطرح می‌شوند:

چگونه فرمول شیمیایی یک آفت‌کش و یک کود شیمیایی به‌دست می‌آید؟ برای تولید مقدار زیادی از یک آفت‌کش در کارخانه (مقیاس صنعتی)، چه مقدار از مواد اولیه باید با هم واکنش بدهند؟ به‌ازای هر هکتار از زمین کشاورزی به چند کیلوگرم کود شیمیایی نیاز است؟

یادگیری واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری به شما کمک می‌کند تا پاسخ این پرسش‌ها و پرسش‌های دیگری که ذهن شما را مشغول کرده است، پیدا کنید.

واکنش شیمیایی و شیوه‌های نمایش آن

در سال‌های پیش با تغییرهای فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های آنها آشنا شدید. برای نمونه ذوب‌شدن، تبخیر و میعان را از جمله تغییرهای فیزیکی و زنگ‌زدن آهن، سوختن کاغذ، ترش‌شدن شیر، هضم غذا و تنفس را از جمله تغییرهای شیمیایی دسته‌بندی کردید. همچنین واکنش شیمیایی را توصیفی برای یک تغییر شیمیایی دانستید و آن را فرایندی تعریف کردید که طی آن یک یا چند مادهٔ شیمیایی (عنصر/ ترکیب) بر هم تأثیر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای تولید می‌کنند. در ضمن آموختید که واکنش‌های شیمیایی با مبادلهٔ انرژی نیز همراه‌اند.



با مخلوط کردن این دو محلول رسوب زرد رنگی (سرب (II)کرومات) ایجاد می‌شود. تشکیل این رسوبِ رنگی از وقوع یک واکنشِ شیمیایی خبر می‌دهد.

واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید. این واکنش به تولید کربن دی‌اکسید، آب و آزاد کردن مقدار قابل توجهی انرژی می‌انجامد. این واکنش شیمیایی را می‌توان با یک **معادلهٔ نوشتاری** به‌صورت زیر توصیف کرد:

متان + اکسیژن (واکنش‌دهنده‌ها) ←می‌دهد— آب + کربن دی‌اکسید (فراورده‌ها) + انرژی

این معادله نام واکنش‌دهنده‌ها (سمت چپ) و فراورده‌های (سمت راست) واکنش را مشخص می‌کند و اطلاعات بیشتری در اختیار نمی‌گذارد.

اگر برای نوشتن معادلهٔ یک واکنش از نمادها و فرمول‌های شیمیایی مواد شرکت‌کننده استفاده شود، در این صورت معادله‌ای به‌دست می‌آید که به آن **معادلهٔ نمادی** می‌گویند. در این معادله حالت فیزیکی هر مادهٔ شرکت‌کننده نیز باید مشخص شود.

$$CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) + CO_2(g)$$

یک معادلهٔ نمادی چه اطلاعاتی در اختیار ما می‌گذارد؟

نمادهای به‌کار رفته برای نمایش حالت فیزیکی مواد در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
(s)	جامد
(l)	مایع
(g)	گاز
(aq)	محلول آبی

خود را بیازمایید

در هر مورد معادلهٔ نمادی واکنش معرفی شده را بنویسید.

آ) محلول سدیم نیترات + رسوب نقره سیانید ← محلول نقره نیترات + محلول سدیم سیانید

ب) محلول پتاسیم نیترات + رسوب کلسیم فسفات ← محلول کلسیم نیترات + محلول پتاسیم فسفات

پ) گاز اکسیژن + منگنز (IV) اکسید جامد + پتاسیم منگنات جامد ← پتاسیم پرمنگنات جامد

ت) از واکنش گاز هیدروژن با گاز کلر، گاز هیدروژن کلرید تولید می شود.

ث) فلز آلومینیم و گرد آهن (III) اکسید با یک دیگر واکنش می دهند و نمک جامد آلومینیم اکسید و آهن مذاب تولید می کنند.

ج) پتاسیم کلرات جامد در اثر گرما به پتاسیم کلرید جامد و گاز اکسیژن تجزیه می شود.

نام	فرمول شیمیایی
سیانید	CN^-
نیترات	NO_3^-
فسفات	PO_4^{3-}
کلرات	ClO_3^-
پرمنگنات	MnO_4^-
منگنات	MnO_4^{2-}

موازنه کردن معادلهٔ یک واکنش شیمیایی

می‌دانید که در واکنش‌های شیمیایی نه اتمی به وجود می‌آید و نه اتمی از بین می‌رود؛ بلکه پس از انجام واکنش همان اتم‌ها به شیوه‌های دیگری به هم متصل می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همهٔ واکنش‌های شیمیایی از قانون پایستگی ماده یا قانون پایستگی جرم پیروی می‌کنند.

یک معادلهٔ شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی و حالت فیزیکی واکنش دهنده ها و فراورده ها اطلاعاتی دربارهٔ شرایط لازم برای انجام واکنش نیز در اختیار می گذارد. درحالی که اطلاعاتی مانند چگونگی و ترتیب مخلوط کردن واکنش‌دهنده‌ها و نکته‌های ایمنی را دربرندارد. برای دستیابی به این موارد باید به شرح عملی اجرای آن واکنش شیمیایی مراجعه کرد. شرح عملی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در منابع علمی معتبر یافت می‌شود.

فکر کنید

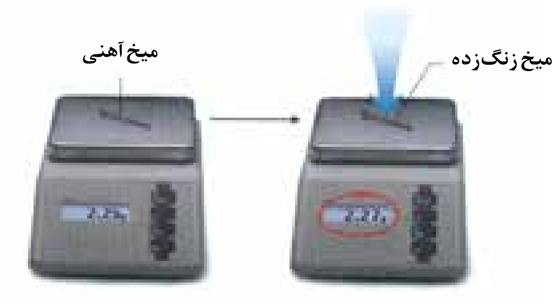
۱ـ به شکل‌های زیر با دقت نگاه کنید و دربارهٔ قانون پایستگی جرم در واکنش‌های شیمیایی در کلاس به گفت و گو بپردازید.

آ) فلز آهن با گوگرد واکنش می‌دهد و به آهن (II) سولفید تبدیل می‌شود.

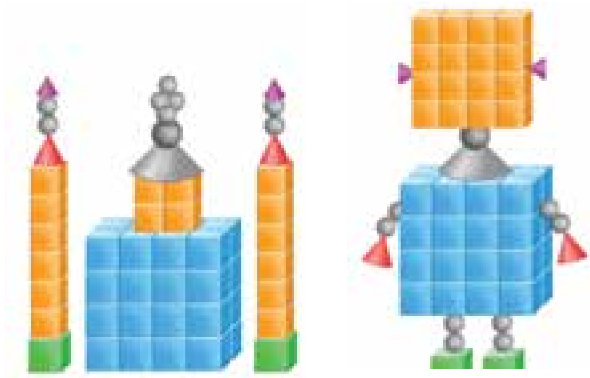
$$Fe(s) + S(s) \xrightarrow{\Delta} FeS(s)$$



ب) میخ آهنی در مجاورت هوای مرطوب به‌آرامی زنگ می‌زند.



۲ـ دو دانش‌آموز با استفاده از قطعه‌های پلاستیکی، دو دست سازه به شکل‌های زیر درست کرده‌اند. دربارهٔ جرم این دو دست سازه در کلاس گفت‌وگو کنید و شرط برابری جرم آن‌ها را بنویسید.



معنای برخی عبارت‌ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
$\longrightarrow$	تولید می‌کند یا می‌دهد
$\xrightarrow{\Delta}$	واکنش دهنده‌ها براثر گرم شدن واکنش می‌کنند.
$\xrightarrow{۲۰atm}$	واکنش در فشار ۲۰ اتمسفر انجام می‌شود.
$\xrightarrow{۱۲۰۰^\circ C}$	واکنش در دمای ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس انجام می‌شود.
$\xrightarrow{pd}$	برای انجام شدن واکنش از پالادیم (Pd) به‌عنوان یک کاتالیزگر استفاده می‌شود.

همان‌طورکه مشاهده کردید، در صورت برابری تعداد قطعه‌های هر رنگ در دو دست سازه، جرم آن دو، برابر خواهد شد. به همین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که برای رسیدن به یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده، باید تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله یکسان باشد. برای این منظور، به هریک از واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ضریبی نسبت می‌دهند.

برای موازنه معادله‌های شیمیایی، روش‌های گوناگونی وجود دارد.

براساس یکی از ساده‌ترین روش‌های موازنه (روش وارَسی) معمولاً به ترکیبی که دارای بیشترین تعداد اتم است، ضریب **۱** می‌دهند سپس با توجه به تعداد اتم‌های این ترکیب، ضرایبی را به مواد دیگر می‌دهند تا تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله برابر شود.

برای نمونه، معادلهٔ سوختن کامل پروپان به‌صورت زیر است:

$$C_۳H_۸(g) + O_۲(g) \rightarrow CO_۲(g) + H_۲O(g)$$ (معادلهٔ موازنه‌نشده)

برای موازنه به $C_۳H_۸$ ضریب **۱** بدهید.

$$۱C_۳H_۸(g) + O_۲(g) \rightarrow CO_۲(g) + H_۲O(g)$$

اینک تعداد اتم‌های کربن و هیدروژن در سمت چپ مشخص شده است. حال اگر به $H_۲O$ ضریب **۴** و به $CO_۲$ ضریب **۳** بدهید. تعداد اتم‌های C و H در دو طرف برابر می‌شود.

$$۱C_۳H_۸(g) + O_۲(g) \rightarrow ۳CO_۲(g) + ۴H_۲O(g)$$

در پایان چون تعداد اتم‌های اکسیژن در سمت راست تعیین شده و برابر با ۱۰ اتم است، اگر به اکسیژن در سمت چپ، ضریب **۵** بدهید، تعداد اتم‌های همهٔ عنصرها در دو سوی معادله برابر می‌شوند.

$$C_۳H_۸(g) + ۵O_۲(g) \rightarrow ۳CO_۲(g) + ۴H_۲O(g)$$

همان‌طور که مشاهده کردید، هنگام موازنه کردن یک معادلهٔ شیمیایی، نباید **زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی** واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر داد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که هریک از ضریب‌های به‌کار رفته در معادلهٔ موازنه شده، باید **کوچک‌ترین عدد صحیح (غیر کسری) ممکن** باشند.

برای نمونه، به روش موازنهٔ معادلهٔ سوختن گاز هیدروژن دقت کنید.

(معادلهٔ موازنه نشده) $$H_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow H_۲O(g)$$

در اینجا برای موازنه، به $H_۲O$، ضریب **۱** می‌دهیم.

$$H_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow ۱H_۲O(g)$$

حال تعداد اتم‌های H و O در سمت راست معادله مشخص شده است. اگر به $H_۲$ ضریب **۱** و به $O_۲$ ضریب $\frac{۱}{۲}$ بدهیم، تعداد اتم‌های هر دو عنصر در دو سوی معادله برابر می‌شود.

$$H_۲(g) + \frac{۱}{۲}O_۲(g) \longrightarrow H_۲O(g)$$

در پایان، برای از بین‌بردن ضریب کسری اکسیژن، همهٔ ضریب‌ها را در عدد **۲** ضرب می‌کنیم، درنتیجه:

(معادلهٔ موازنه شده) $$۲H_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow ۲H_۲O(g)$$

خود را بیازمایید

معادلهٔ واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

آ) $KNO_۳(s) \rightarrow KNO_۲(s) + O_۲(g)$

ب) $Ca(OH)_۲(aq) + H_۳PO_۴(aq) \rightarrow Ca_۳(PO_۴)_۲(aq) + H_۲O(l)$

پ) $C_۲H_۵OH(l) + O_۲(g) \rightarrow CO_۲(g) + H_۲O(g)$

ت) $N_۲(g) + H_۲(g) \rightarrow NH_۳(g)$

اغلب برای آغاز یک واکنش به مقداری انرژی نیاز است. به حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی انرژی فعال‌سازی می‌گویند. دادن گرما، تابش نور، ایجاد جرقه، تخلیهٔ الکتریکی یا واردآوردن یک شوک مانند زدن ضربه یا افزایش ناگهانی فشار این انرژی را تأمین می‌کند.

در معادله‌های شیمیایی موازنه شده، ضریب **۱** نوشته نمی‌شود.

یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده به دو صورت خوانده می‌شود. برای نمونه:

۱- دو مول گاز هیدروژن با یک مول گاز اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مول بخار آب تولید می‌کند.

۲- دو مولکول هیدروژن با یک مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مولکول آب تولید می‌کند.

در یک معادلهٔ شیمیایی، تعداد یون‌های چنداتمی مانند $PO_۴^{۳-}$، $NO_۳^-$ و ... را به‌صورت یک گونهٔ شیمیایی جدا در دو سوی معادله شمارش و موازنه کنید.



انواع واکنش‌های شیمیایی

تاکنون واکنش‌های شیمیایی بسیاری شناخته شده است که مطالعهٔ همهٔ آنها غیرممکن به‌نظر می‌رسد. به‌علت شباهتی که میان بسیاری از واکنش‌های شیمیایی، مشاهده می‌شود، می‌توان آنها را در دسته‌های کوچک‌تری طبقه‌بندی کرد و به این ترتیب مطالعهٔ آنها را ممکن ساخت. دسته‌بندی پنجگانهٔ زیر رایج‌ترین شیوهٔ طبقه‌بندی واکنش‌های شیمیایی است، شکل ۱.



شکل ۱ دسته‌بندی پنجگانهٔ واکنش‌های شیمیایی

توجه داشته باشید که برخی واکنش‌ها را نمی‌توان تنها به یکی از این دسته‌ها متعلق دانست، زیرا ممکن است ویژگی‌های بیش از یک دسته را داشته باشد.

واکنش سوختن: می‌دانید که سوختن به واکنشی می‌گویند که در آن یک ماده مثلاً یک ترکیب آلی مانند گاز اتین (استیلن)، یک نافلز مانند گوگرد یا یک فلز واکنش‌پذیر مانند منیزیم به‌سرعت و شدت با اکسیژن ترکیب می‌شود و افزون بر آزاد کردن مقدار زیادی انرژی به‌صورت نور و گرما، اغلب ترکیب‌های اکسیژن‌دار را به‌وجود می‌آورد.



واکنش سوختن نوار منیزیم با آزاد شدن نور و گرمای زیادی همراه است. گفتنی است که Mg به آرامی و بدون شعله نیز با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود. در این واکنش نیز MgO سفیدرنگ تولید می‌شود. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش اکسایش می‌گویند. (تشکیل آرام لایهٔ ترد و سفیدرنگ روی سطح براق نوار منیزیم شاهدی بر این مدعاست.)

$2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(g)$ + نور و گرما

اتین — ترکیب‌های اکسیژن‌دار — انرژی

$S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$ + نور و گرما

نافلز

$2Mg(s) + O_2(g) \longrightarrow 2MgO(s)$ + نور و گرما

فلز

همچنین می‌دانید که واکنش همهٔ مواد با اکسیژن به شدت و سرعت سوختن نیست. چنین واکنش‌هایی را **اکسایش** می‌گویند. زنگ‌زدن آهن، نوعی واکنش اکسایش است.

$4Fe(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Fe_2O_3(s)$

در سال آینده با این دسته از واکنش‌ها بیشتر آشنا خواهید شد.

اطلاعات جمع‌آوری کنید

هنگامی که فلزهای قلیایی برای مدتی در معرض هوا قرار بگیرند، مخلوط پیچیده‌ای از ترکیب‌های شیمیایی روی سطح آنها تشکیل می‌شود. دربارهٔ نام و ویژگی‌های اجزای این مخلوط و چگونگی تشکیل آنها تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



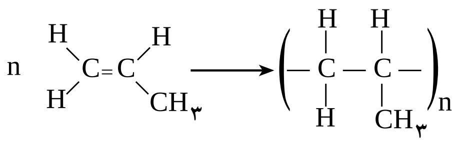
شکل ۲ بر اثر واکنش بخار NH_3 و بخار HCl گَردِ سفید رنگ NH_4Cl تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیب است.

واکنش سنتز یا ترکیب

واکنشی است که در آن چند ماده بر هم اثر کرده، فراورده(ها)ی تازه‌ای با ساختار پیچیده‌تر تولید می‌کنند. در زیر یک نمونه از این واکنش‌ها را مشاهده می‌کنید، شکل ۲.

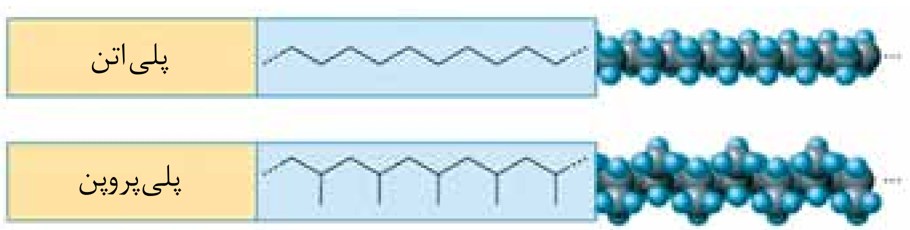
$$NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(s)$$

واکنش بسپارش (پلیمرشدن) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب شده، درشت‌مولکول‌هایی به نام بسپار (پلیمر) تولید می‌شود. تولید پلی‌اِتن (پلی‌اتیلن)، پلی‌پروپن و پلی‌تترافلوئوراتن (تفلون) از جمله مهم‌ترین واکنش‌های بسپارش (پلیمرشدن) در صنعت است.



$n\ C_3H_6(g)$، پروپن $(C_3H_6)_n(s)$، پلی‌پروپن

به ساختار پلی‌اتن و پلی‌پروپن توجه کنید.





از پلی‌پروپن برای تولید ریسمان استفاده می‌شود.

واکنش تجزیه

به واکنشی تجزیه می‌گویند که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود. تجزیهٔ کربنات‌ها در اثر گرما نمونه‌ای از این واکنش‌هاست. در این واکنش گاز کربن‌دی‌اکسید آزاد می‌شود.

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$$

ترکیب‌هایی مانند نیترات‌ها و کلرات‌ها نیز در اثر گرما تجزیه می‌شوند. گاز اکسیژن فراوردهٔ مهم این دسته از واکنش‌هاست.

$$2KClO_3(s) \xrightarrow{\Delta} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

$$2NaNO_3(s) \xrightarrow{\Delta} 2NaNO_2(s) + O_2(g)$$

آزمایش کنید

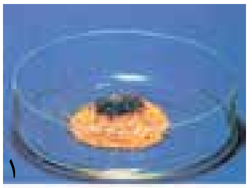
هدف: تجزیهٔ آمونیوم دی کرومات

وسایل مورد نیاز: بشر، لولهٔ آزمایش، هم‌زن شیشه‌ای، شیشه ساعت، توری نسوز و کبریت

مواد مورد نیاز: آمونیوم دی کرومات، جامدی بلوری و نارنجی رنگ به فرمول $(NH_4)_2Cr_2O_7$

روش کار:

5g آمونیوم دی کرومات را روی توری نسوز یا درون یک تشتک شیشه‌ای بریزید. سپس توری را روی یک کاغذ A۴ قرار دهید. برای شروع واکنش، کبریت را روشن کنید و به‌مدت چند ثانیه به‌طورمستقیم روی آمونیوم دی کرومات بگیرید. به محض شروع واکنش، شعلهٔ کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام دهید.



۱



۲

واکنش تجزیهٔ آمونیوم دی کرومات

۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵۰ mL را به‌طور وارونه چند سانتی‌متر بالاتر از مخلوط آزمایش نگه دارید. چه مشاهده می‌کنید؟ چه نتیجه‌ای از این مشاهده می‌گیرید؟

۲) بعد از پایان واکنش، جامد باقی‌مانده را وزن کنید و اختلاف جرم مادهٔ اولیه و فراورده را حساب کنید. علت این اختلاف را توضیح دهید.

۳) به کمک معلم خود، واکنش تجزیهٔ آمونیوم دی کرومات را نوشته، موازنه کنید.

۴) ویژگی‌های ظاهری و حل‌شوندگی واکنش‌دهنده و فراورده را در آب مقایسه کنید. برای این کار مقداری از واکنش‌دهنده یا فراورده را در یک لولهٔ آزمایش بریزید و سپس روی آن کمی آب مقطر اضافه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

خود را بیازمایید

واکنش‌های جابه‌جایی را جانشینی یا جایگزینی نیز می‌نامند.

۱ــ در هر مورد معادلهٔ واکنش داده‌شده را موازنه کنید.

آ) $CdCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CdO(s) + CO_2(g)$

ب) $CH_3OH(g) \xrightarrow{\Delta} CO(g) + H_2(g)$

پ) $Al_۲(SO_۴)_۳(s) \xrightarrow{\Delta} Al_۲O_۳(s) + SO_۳(g)$

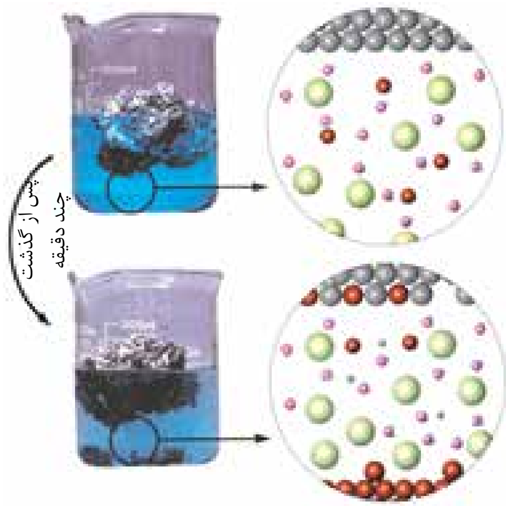
۲ـ در هر مورد، معادلهٔ واکنش داده‌شده را کامل و موازنه کنید.

آ) $Ca(s) + O_۲(g) \longrightarrow ....(s)$

ب) $ZnCO_۳(s) \xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + ...(g)$

پ) $n\ F_2C{=}CF_2\ (g) \longrightarrow ....\ (s)$

واکنش جابه‌جایی یگانه: هنگامی که یک قطعه ورقهٔ آلومینیمی درون محلولی از مس (II) سولفات قرار می‌گیرد، تشکیل فلز سرخ فام مس بر سطح ورقهٔ آلومینیمی به‌خوبی قابل مشاهده است. در ضمن، مقداری از مس تولیدشده نیز به ته ظرف فرو خواهد ریخت، شکل ۳.



(یون سولفات مولکول آب)

شکل۳ واکنش آلومینیم با محلول مس (II) سولفات

به نظر می‌آید که در این واکنش، فلز آلومینیم جای مس موجود در مس (II) سولفات را گرفته و آن را به‌صورت فلز مس آزاد کرده است.

$$۲Al(s) + ۳CuSO_۴(aq) \longrightarrow Al_۲(SO_۴)_۳(aq) + ۳Cu(s)$$

با نگاهی به معادلهٔ این واکنش می‌توان دریافت که تنها یک جابه‌جایی رخ داده است. جابه‌جایی یگانه، نامی است که به این دسته از واکنش‌ها داده‌اند.

معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی یگانه‌اند.



گاز کلر تولید شده در ارلن سمت چپ با محلول KBr در ارلن سمت راست واکنش می‌دهد.

$$Cl_۲(g) + ۲KBr(aq) \longrightarrow ۲KCl(aq) + Br_۲(aq)$$

$$Zn(s) + ۲AgNO_۳(aq) \longrightarrow Zn(NO_۳)_۲(aq) + ۲Ag(s)$$

بریلیم تنها عنصر قلیایی خاکی است که با آب یا بخار آب داغ واکنش نمی‌دهد و پایین‌تر از ۶ °C در هوا نیز اکسایش نمی‌یابد.

واکنش فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی با آب به تولید گاز هیدروژن می‌انجامد. این واکنش‌ها نیز از جملهٔ واکنش‌های جابه‌جایی یگانه به‌شمار می‌آیند.

$$2K(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow H_2(g) + 2KOH(aq)$$

$$Ba(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow H_2(g) + Ba(OH)_2(aq)$$

واکنش جابه‌جایی دوگانه: اگر محلولی از نقره نیترات بر روی محلولی از سدیم کلرید ریخته شود، رسوب سفیدرنگ نقره کلرید به‌سرعت تشکیل می‌شود، شکل ۴. معادلهٔ این واکنش به‌شرح زیر است:

$$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$$



شکل ۴ یک واکنش جابه‌جایی دوگانه؛ تشکیل رسوب سفیدرنگ نقره کلرید ($AgCl(s)$) در اثر مخلوط کردن محلول‌های نقره نیترات ($AgNO_3(aq)$) و سدیم کلرید ($NaCl(aq)$).

شیمی‌دان‌ها این گونه واکنش‌ها را جابه‌جایی دوگانه می‌خوانند. دلیل این نام‌گذاری چیست؟

معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی دوگانه‌اند.

$$Pb(NO_3)_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$$

$$Ba(OH)_2(aq) + 2HNO_3(aq) \longrightarrow Ba(NO_3)_2(aq) + 2H_2O(l)$$

$$NaOH(aq) + HCl(aq) \longrightarrow H_2O(l) + NaCl(aq)$$

خود را بیازمایید

در هر مورد، معادلهٔ واکنش داده‌شده را کامل و موازنه کنید.

آ) $Br_2(l) + NaI(aq) \longrightarrow I_2(s) + ...$

ب) $Zn(s) + CuCl_2(aq) \longrightarrow Cu(s) + ...$

پ) $Al(s) + HBr(aq) \longrightarrow ...... + ...$

ت) $Fe(NO_3)_3(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Fe(OH)_3(s) + ...$

ث) $ZnBr_2(aq) + AgNO_3(aq) \longrightarrow AgBr(s) + ...$

آزمایش کنید

هدف: شناسایی یون‌های Pb^{2+}، Fe^{3+} و Ag^{+} در محلول نمک‌های آنها در آب

وسایل مورد نیاز: قاشقک، چند لولهٔ آزمایش و قطره‌چکان

مواد مورد نیاز: محلول‌های رقیقی از سرب (II) نیترات، آهن (III) کلرید،

پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، نقره نیترات و پتاسیم کرومات

برای تهیهٔ این محلول‌ها کافی است مقدار اندکی (به اندازهٔ نوک یک قاشقک) از هریک از این مواد جامد برداشته، در یک لولهٔ آزمایش بریزید. سپس در لولهٔ آزمایش تا نیمه آب مقطر ریخته به هم بزنید.

روش کار:

آ) شناسایی یون Pb^{2+}

۲mL از محلول سرب (II) نیترات را در یک لولهٔ آزمایش بریزید سپس قطره‌قطره محلول پتاسیم یدید به آن اضافه کرده، مشاهده‌های خود را یادداشت کنید. معادلهٔ شیمیایی واکنش را کامل و موازنه کنید.



واکنش محلول سرب (II) نیترات با محلول پتاسیم یدید

محلول ...... + رسوب ...... ⟵ محلول پتاسیم یدید + محلول سرب (II) نیترات

$$\ldots\ldots\ldots(aq) + \ldots\ldots\ldots(aq) \longrightarrow \ldots\ldots\ldots(s) + \ldots\ldots\ldots(aq)$$

ب) شناسایی یون Fe^{3+}

مطابق روش بالا محلول سدیم هیدروکسید را به محلول آهن (III) کلرید اضافه کرده مشاهده‌های خود را یادداشت کنید. معادلهٔ واکنش را کامل و موازنه کنید.



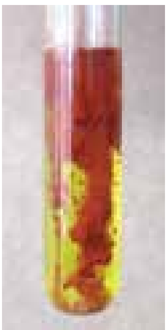
واکنش محلول آهن (III) کلرید با محلول سدیم هیدروکسید

محلول .... + رسوب .... ⟵ محلول سدیم هیدروکسید + محلول آهن (III) کلرید

$$\ldots\ldots\ldots(aq) + \ldots\ldots\ldots(aq) \longrightarrow \ldots\ldots\ldots(s) + \ldots\ldots\ldots(aq)$$

پ) شناسایی یون Ag^{+}

محلول پتاسیم کرومات را قطره قطره به محلول نقره نیترات اضافه کرده، مشاهده‌های خود را یادداشت کنید. معادلهٔ واکنش را کامل و موازنه کنید.



واکنش محلول نقره نیترات با محلول پتاسیم کرومات

محلول .... + رسوب .... ⟵ محلول پتاسیم کرومات + محلول نقره‌نیترات

$$AgNO_3(aq)+K_2CrO_4(aq) \longrightarrow \ldots\ldots\ldots(s)+\ldots\ldots\ldots(aq)$$

توجه: پس از انجام هر مرحله قطره‌چکان را با آب مقطر بشویید (چرا؟). در مصرف مواد صرفه‌جویی کنید و به توصیهٔ مربی آزمایشگاه برای دور ریختن محلول‌ها دقت کنید.

استوکیومتری؛ روابط کمّی در واکنش‌های شیمیایی

استوکیومتری (stoichiometry) واژه‌ای یونانی است که از ترکیب دو واژهٔ استویکیون (stoicheion) به معنای عنصر و مترون (metron) به معنای سنجش گرفته شده است.

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عنصرها در ترکیب‌ها و نیز ارتباط کمی میان مقادیر مواد شرکت کننده در واکنش‌های شیمیایی (واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها) سروکار دارد. با استفاده از روابط استوکیومتری می‌توان بین مقدار مواد واکنش‌دهنده و مقدار فراورده‌ها یک ارتباط کمّی برقرار کرد. در محاسبه‌های استوکیومتری

تنها از معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش استفاده می‌شود؛ زیرا معادلهٔ شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها، نسبتی معین را مشخص می‌کنند که مواد یادشده متناسب با آن در واکنش مصرف یا تولید می‌شوند.

روابط مولی ـ مولی در محاسبه‌های استوکیومتری

مفهوم مول در بحث استوکیومتری را می‌توان هم‌ارز واحد پول در یک کشور دانست. همان‌طور که تنها با پول رایج یک کشور می‌توان در آنجا به خرید و فروش اقدام کرد، در بحث استوکیومتری و محاسبه‌های مربوط به آن نیز رایج است. بنابراین آشنایی با مول و شیوه‌های تبدیل یکاهای دیگر به مول و برعکس در این مبحث **مول** اهمیت زیادی دارد.

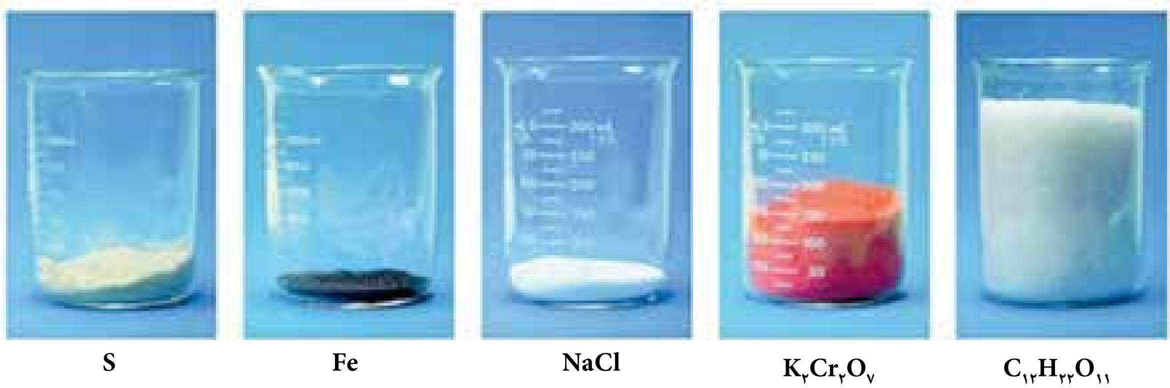
یادآوری مفهوم مول

در کتاب شیمی ۱ با مفهوم مول آشنا شدید. آموختید که یک مول به مجموعه‌ای شامل $6/022 \times 10^{23}$ ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می‌شود.

عدد $6/022 \times 10^{23}$ را عدد آووگادرو می‌گویند و آن‌را با N_A نمایش می‌دهند. ثابت آووگادرو برابر $6/022 \times 10^{23} mol^{-1}$ است.

همچنین ضمن آشنایی با مفهوم اتم گرم (جرم یک مول اتم برحسب گرم) و مولکول گرم (جرم یک مول از مولکول‌های یک ماده برحسب گرم) و شیوهٔ محاسبهٔ آن، آموختید که شیمی‌دان‌ها به جای این دو، مفهوم عمومی‌تر جرم مولی را به کار می‌برند و آن را برحسب گرم بر مول ($g.mol^{-1}$) بیان می‌کنند.

از شیمی ۲ نیز به یاد دارید که وجود ایزوتوپ‌های مختلف و تفاوت در فراوانی آنها سبب شد که برای نمونه‌های طبیعی عنصرها از جرم اتمی میانگین آنها استفاده شود. بنابراین جرم مولی عنصرها یا ترکیب‌ها را به‌آسانی می‌توان از داده‌های تجربی موجود در جدول تناوبی عنصرها به دست آورد، شکل ۵.



شکل ۵ مقدار **۱** مول از مواد شیمیایی مختلف

خود را بیازمایید

در هر مورد با استفاده از جدول تناوبی عنصرها، جرم مولی گونه‌های زیر را معین کنید.

آ) آمونیاک، $NH_۳$

ب) اوره، $CO(NH_۲)_۲$

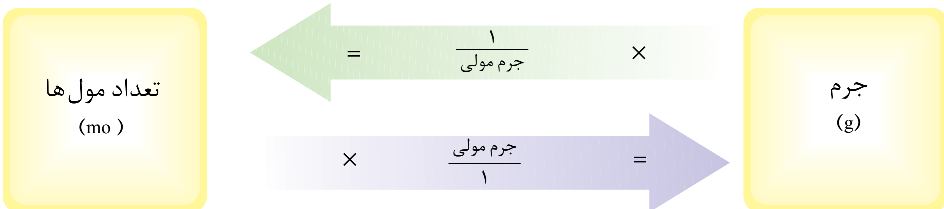
پ) آمونیوم هیدروژن فسفات $(NH_۴)_۲HPO_۴$

در ترکیب‌های یونی، مولکول وجود ندارد، به همین دلیل به جای واژهٔ مولکول گرم از واژهٔ جرم مولی برای آنها استفاده می‌شود.

تبدیل تعداد مول‌ها به جرم و برعکس

جرم از جمله کمیت‌هایی است که به‌آسانی و در آزمایشگاه قابل سنجش است. از این‌رو یافتن توانایی تبدیل جرم به تعداد مول‌ها و برعکس یعنی تبدیل تعداد مول‌ها به جرم، مهارت مهمی در مبحث استوکیومتری است.

برای این تبدیل از جرم مولی استفاده می‌شود، شکل ۶.



شکل ۶ تبدیل تعداد مول‌ها و جرم به یکدیگر

نمونهٔ حل شده

جرم $۳/۵۰\,mol$ مس چند گرم است؟

پاسخ:

۱ـ فهرست داده‌های مسئله را بنویسید.

* تعداد مول‌های مس: $۳/۵۰\,mol$

* جرم مولی مس: $۶۳/۵۵\,g.mol^{-۱}$ یعنی $\frac{۶۳/۵۵\,gCu}{۱\,molCu}$

۲ـ با یافتن ضریب تبدیل مناسب، محاسبه را انجام دهید.

$$?\,gCu = ۳/۵۰\,\cancel{molCu} \times \underbrace{\frac{۶۳/۵۵\,gCu}{۱\,\cancel{molCu}}}_{\text{ضریب تبدیل}} = ۲۲۲/۴\,gCu$$



مس یک فلز سکه‌زنی است.

خود را بیازمایید

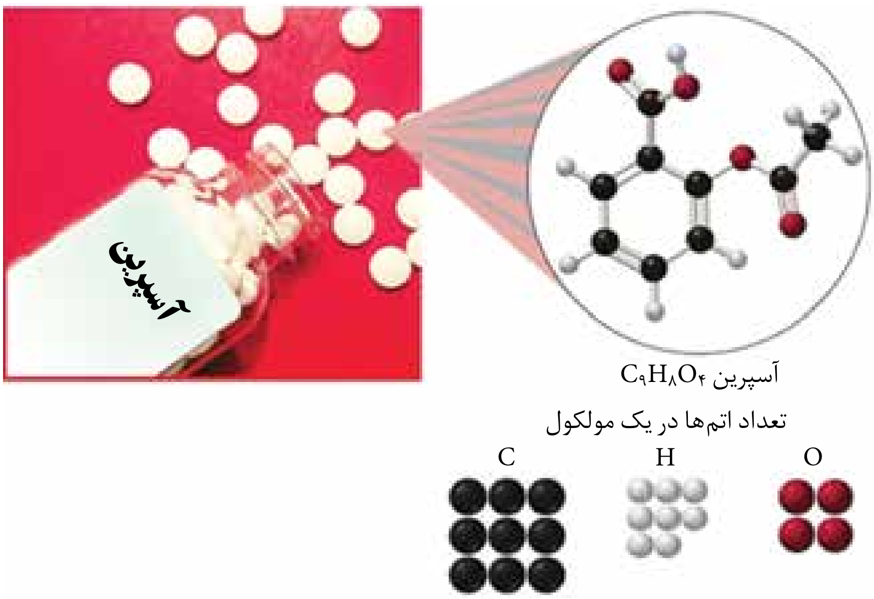
۱ـ $83/5g$ مس چند مول است؟

۲ـ $128/9g$ کربن دی‌اکسید چند مول است؟

تجزیهٔ عنصری و استوکیومتری فرمولی

چگونه می‌توان فرمول مولکولی یک مادهٔ شیمیایی را به‌دست آورد؟

در شیمی ۲ آموختید که فرمول مولکولی هر ترکیب نشان‌دهندهٔ نوع و تعداد اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن است. برای نمونه، در آسپرین با فرمول مولکولی $C_9H_8O_4$:



شکل ۷ مدل مولکولی آسپرین و نسبت اتم‌های سازنده آن

در هر مولکول، ۹ اتم کربن، ۸ اتم هیدروژن و ۴ اتم اکسیژن وجود داردشکل ۷. درنتیجه هر مول آسپرین، ۹ مول C، ۸ مول H و ۴ مول O دارد. به بیان دیگر اتم‌های C، H وO به نسبت مولی ۹، ۸ و ۴ وجود دارند.

بنابراین با دانستن نسبت‌های مولی عنصرهای سازنده در یک ماده می‌توان فرمول مولکولی آن را حدس زد. برای نمونه در فرمالدهید به‌ازای یک مول اتم کربن، ۲ مول اتم هیدروژن و یک مول اتم اکسیژن وجود دارد. فرمول مولکولی فرمالدهید چیست؟

به نظر شما آیا با دانستن **نسبت مولی** عنصرهای یک ترکیب، همواره می‌توان فرمول مولکولی آن‌را حدس زد؟ برای نمونه، در یک هیدروکربن به‌ازای یک مول اتم کربن،

آسپرین به طور طبیعی در پوست درخت بید یافت می‌شود، به‌طوری که مصرف محلولی از گرد پوست درخت بید، سبب کاهش تب و لرز در بیماران مبتلا به مالاریا می‌شود. این موضوع شیمی‌دان‌ها را تشویق کرد تا در پی یافتن فرمول مولکولی آسپرین باشند. از این رو، آنها با انجام واکنش‌های شیمیایی بر روی پوست درخت بید و با استفاده از استوکیومتری موفق شدند فرمول مولکولی آسپرین را کشف کنند. سپس با دانستن فرمول مولکولی آسپرین، توانستند آن‌را در آزمایشگاه از واکنش سالیسیلیک اسید با استیک‌انیدرید تولید کنند.

مردم سراسر جهان، سالانه ۵۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ قرص آسپرین، برای کاهش تب، التهاب، تپش‌های قلب و سکته مصرف می‌کنند. درنتیجه شرکت‌های دارویی به شدت با یکدیگر رقابت می‌کنند تا روش‌های تولید آسپرین و داروهای دیگر را اصلاح کنند و با افزایش مقدار فراورده، قیمت تمام‌شدهٔ داروها را کاهش دهند.

دومول اتم هیدروژن وجود دارد. فرمول شیمیایی این هیدروکربن را حدس بزنید. آیا فرمول به‌دست‌آمده، می‌تواند فرمول مولکولی هیدروکربن باشد؟ (چرا؟)

در برخی موارد، دانستن نسبت مولی عنصرهای تشکیل‌دهندهٔ یک ماده برای تعیین فرمول مولکولی آن کافی نیست و تنها فرمول تجربی آن‌را نشان می‌دهد.

همان‌طورکه می‌دانید فرمول تجربی، ساده‌ترین نسبت مولی عنصرهای سازندهٔ یک ترکیب را مشخص می‌کند؛ برای نمونه، فرمول تجربی $CH_۲$ نشان می‌دهد که در مولکول‌های این هیدروکربن، همواره تعداد اتم‌های هیدروژن دو برابر اتم‌های کربن است، بنابراین فرمولی مولکولی آن کدام یک از فرمول‌های زیر است؟

$C_۳H_۶$, $C_{۱۰}H_{۲۰}$, $C_۴H_۸$, $C_۵H_{۱۰}$

برای یافتن پاسخ، این پرسش، باید جرم مولی هیدروکربن مشخص باشد. حال فرض کنید که جرم مولی این هیدروکربن برابر با ۷۰ گرم بر مول باشد؛ در آن صورت، با توجه به آنچه در شیمی ۲ آموختید، می‌توان نوشت:

n×(جرم فرمول تجربی) = جرم فرمولِ مولکولی

۷۰ =(۱۲+۲)×n

n=۵

فرمول مولکولی = $(\text{فرمول تجربی})_n$

فرمول مولکولی = $(CH_۲)_۵ = C_۵H_{۱۰}$

اما این پرسش که «فرمول تجربی را چگونه می‌توان به‌دست آورد؟» بی‌پاسخ مانده است.

فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از تجزیهٔ عنصری آن با انجام محاسبه‌های استوکیومتری به‌دست می‌آید. به‌طوری که می‌توان، نوع عنصرهای سازنده و درصد جرمی آنها را به‌دست آورد. سپس با استفاده از این داده‌ها فرمول تجربی و فرمول مولکولی آن‌را تعیین کرد.

نمونهٔ حل شده

تجزیهٔ عنصری ۱ـ پروپانول نشان می‌دهد که این ترکیب آلی از ۶۰/۰٪ کربن (C)، ۱۳/۴٪ هیدروژن (H) و ۲۶/۶٪ اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به‌دست آورید.

پاسخ:

درصد جرمی عنصرهای سازنده نشان می‌دهد که در هر ۱۰۰ گرم از ۱ـ پروپانول ۶۰ گرم کربن، ۱۳/۴ گرم هیدروژن و ۲۶/۶ گرم اکسیژن وجود دارد؛

در ترکیب‌های یونی، فرمول تجربی با فرمول شیمیایی ترکیب یکسان است.

شیمی‌دان‌ها جرم اتم‌ها و مولکول‌ها را با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی به‌دست می‌آورند.

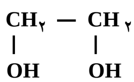
تجزیهٔ عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل‌دهنده و درصد جرمی هریک از آنها در ترکیب شیمیایی یاد شده تعیین می‌شود.

الکل‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های آلی هستند که یک یا تعداد بیشتری گروه عاملی هیدروکسیل (OH−) روی زنجیر کربنی خود دارند. برخی الکل‌ها مانند متانول یک گروه OH− دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱، ۲ـ اتان دی‌اُل) و گلیسرین (۱،۲،۳ـ پروپان تری‌اُل) به‌ترتیب دو و سه گروه عاملی هیدروکسیل دارند.

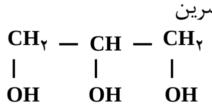
$CH_۳CH_۲OH$ اتانول

$CH_۳OH$ متانول

اتیلن گلیکول



گلیسرین



متانول به الکل چوب معروف است و از گرم کردن چوب در غیاب اکسیژن تا دمای ۴۰۰°C به‌دست می‌آید. در حالی که اتانول، الکل میوه نام دارد و در اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات‌های موجود در میوه‌ها توسط آنزیم‌ها تولید می‌شود.

بنابراین:

$$molC = ۶۰/۰\ gC \times \frac{۱molC}{۱۲/۰gC} = ۵/۰\ molC$$

$$molH = ۱۳/۴\ gH \times \frac{۱molH}{۱/۰gH} = ۱۳/۴\ molH$$

$$molO = ۲۶/۶\ gO \times \frac{۱molO}{۱۶/۰gO} = ۱/۷\ molO$$

حال برای یافتن ساده‌ترین نسبت مولی عنصرها، تعداد مول هر عنصر را به تعداد مول عنصری که مقدار آن از همه کمتر است، تقسیم می‌کنیم.

$$\left.\begin{array}{l} C: \frac{۵/۰molC}{۱/۷} = ۲/۹molC \\ H: \frac{۱۳/۴molH}{۱/۷} = ۷/۹molH \\ O: \frac{۱/۷molO}{۱/۷} = ۱molO \end{array}\right\} \Rightarrow C_۳H_۸O$$

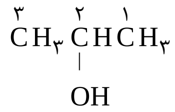
خود را بیازمایید

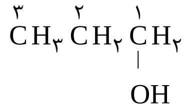
۱ـ یک ترکیب یونی که برای تولید شیشه‌های لوازم الکترونیکی به‌کار می‌رود، شامل ۵۶/۵٪ پتاسیم،۸/۹٪ کربن و ۳۴/۶٪ اکسیژن است. فرمول تجربی این ترکیب را به‌دست آورید.

۲ـ مادهٔ معطر و خوش‌طعم موجود در آناناس دارای ۶۲/۱٪ کربن، ۱۰/۳٪ هیدروژن و ۲۷/۶٪ اکسیژن است. اگر جرم مولی آن برابر ۱۱۶ گرم برمول باشد، فرمول مولکولی آن را به‌دست آورید.

۳ـ تجزیهٔ عنصری نمونه‌ای از یک مادهٔ شیمیایی نشان داد که در این نمونه g ۱۲/۴ کلسیم و g ۶/۴ فسفر وجود دارد. فرمول تجربی مادهٔ شیمیایی موجود در این نمونه چیست؟

الکل های راست زنجیر هم کربن را با مشخص کردن شمارهٔ اتم کربنی مشخص می کنند که گروه هیدروکسیل به آن متصل شده است.





۱ـ پروپانول و ۲ـ پروپانول

در فرمول شیمیایی، زیروند **۱** نوشته نمی‌شود.

هنگام انجام محاسبه برای یافتن ساده‌ترین نسبت مولی عنصرها، عددهای نهایی به‌دست آمده را می‌توانید حداکثر تا تقریب یک دهم گرد کنید. برای نمونه؛

۵/۰۹ ≃ ۵

۴/۹۱ ≃ ۵

بیشتر بدانید

برای تأمین غذای جمعیت رو به فزونی جهان، کشاورزان ناگزیرند فراورده‌های بیشتر و مغذی‌تری را تولید کنند. آنها هر سال، صدها میلیون تُن کود شیمیایی را به خاک می‌افزایند تا فراورده‌های با کیفیت بالاتری به‌دست آورند. گیاهان برای رشد مناسب، افزون بر کربن دی‌اکسید و آب، به شش عنصر دیگر نیز نیاز دارند. این شش عنصر عبارت‌اند از N، P، K، Ca، S و Mg.

کودهای نیتروژن‌دار دارای نمک‌های نیترات (ترکیب‌های دارای یون NO_3^-)، نمک‌های آمونیوم (ترکیب‌های دارای یون NH_4^+) و ترکیب‌های دیگر است. گیاهان می‌توانند نیتروژن را به‌طور مستقیم به‌صورت نیترات از خاک جذب کنند، اما آمونیاک (NH_3) و نمک‌های آمونیوم ابتدا باید به‌وسیلهٔ باکتری‌های خاک به نیترات‌ها تبدیل شوند. آمونیاک مادهٔ اولیهٔ کودهای نیتروژن‌دار است که از واکنش بین هیدروژن و نیتروژن به‌دست می‌آید.

$$3H_2(g)+N_2(g)\rightarrow 2NH_3(g)$$

همچنین، آمونیاک را می‌توان براساس واکنش‌های زیر به آمونیوم نیترات (NH_4NO_3)، آمونیوم سولفات ($(NH_4)_2SO_4$)، یا آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات ($(NH_4)H_2PO_4$) تبدیل کرد:

$$NH_3(aq)+HNO_3(aq)\rightarrow NH_4NO_3(aq)$$

$$2NH_3(aq)+H_2SO_4(aq)\rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

$$NH_3(aq)+H_3PO_4(aq)\rightarrow (NH_4)H_2PO_4(aq)$$

از واکنش دو مرحله‌ای زیر نیز به‌عنوان روش دیگری برای تهیهٔ آمونیوم سولفات استفاده می‌شود:

مرحلهٔ یک $2NH_3(aq)+CO_2(aq)+H_2O(l)\rightarrow (NH_4)_2CO_3(aq)$

مرحلهٔ دو $(NH_4)_2CO_3(aq)+CaSO_4(aq)\rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)+CaCO_3(s)$

برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر آن است که مواد اولیهٔ آن (گچ، کربن دی‌اکسید و آب) از سولفوریک اسید ارزان‌ترند.

جدول زیر درصد جرمی نیتروژن را در برخی از کودهای شیمیایی متداول نشان می‌دهد.

درصد جرمی نیتروژن در پنج کود شیمیایی رایج

نام	فرمول شیمیایی	٪N
آمونیاک	NH_3	۸۲/۴
آمونیوم نیترات	NH_4NO_3	۳۵
آمونیوم سولفات	$(NH_4)_2SO_4$	۲۱/۲
آمونیوم دی هیدروژن فسفات	$(NH_4)H_2PO_4$	۱۲/۲
اوره	$(NH_2)_2CO$	۴۶/۷

برای انتخاب یک کود از میان چند کود شیمیایی چند عامل مؤثر است:

۱) قیمت مواد اولیهٔ لازم برای تهیهٔ کود

(۲) آسانی انبار کردن، حمل و نقل و به‌کارگیری

(۳) درصد جرمی عنصر موردنظر

(٤) مناسب بودن ترکیب از نظر انحلال‌پذیری در آب یا آسانی جذب آن به‌وسیلهٔ گیاهان.

با توجه به همهٔ این عوامل، به‌نظر شما کدام یک از این کودها مهم‌ترین کود شیمیایی نیتروژن‌دار در جهان به‌شمار می‌آید؟ در این‌باره تحقیق کنید.

استوکیومتری واکنش

یک معادلهٔ موازنه شده، رابطهٔ کمی بین شمار ذره‌های واکنش‌دهنده(ها) و فراورده(ها) را نشان می‌دهد. واکنش سوختن کامل گاز متان را در نظر بگیرید:

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

این معادله نشان می‌دهد که برای سوختن کامل هر مولکول متان، به دو مولکول اکسیژن نیاز است. طی این واکنش یک مولکول کربن دی‌اکسید و دو مولکول آب نیز تولید می‌شود. به همین ترتیب می‌توان گفت به‌ازای هر مول متان به دو مول اکسیژن نیاز است و دراثر انجام واکنش یک مول کربن دی‌اکسید و دو مول آب تولید می‌شود.

خود را بیازمایید

با توجه به معادلهٔ واکنش سوختن کامل متان،جدول نسبت‌های مولی زیر را کامل کنید:

نسبت مولی اکسیژن به متان = $\frac{2mol\ \ O_2}{1mol\ \ CH_4} = 2$

نسبت مولی کربن دی‌اکسید به متان = ________

نسبت مولی آب به کربن دی‌اکسید = ________

نسبت مولی متان به آب = ________

با استفاده از نسبت‌های مولی می‌توان تعداد مولِ فراورده(ها)ی به‌دست‌آمده از واکنش یا تعداد مولِ واکنش‌دهنده(ها)ی مورد نیاز را به‌دست آورد.

نمونهٔ حل شده

فلز روی با هیدروکلریک اسید به‌صورت زیر واکنش می‌دهد.

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$

آ) از واکنش ۰/۲ mol فلز روی با هیدروکلریک اسید، چند مول گاز هیدروژن تولید می‌شود؟

ب) برای تولید ۰/۳ mol روی کلرید به چند مول هیدروکلریک اسید نیاز است؟

پاسخ:

مرحلهٔ ۱:

به‌دست‌آوردنِ نسبت‌های مولی از روی معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش

$$\frac{1mol\ \ H_2}{1mol\ \ Zn}$$ = نسبت مولی گاز هیدروژن به فلز روی

$$\frac{2mol\ \ HCl}{1mol\ \ ZnCl_2}$$ =نسبت مولی هیدروکلریک اسید به روی کلرید

مرحلهٔ۲:

به‌دست آوردنِ تعداد مول‌های مادهٔ خواسته شده از روی تعداد مول مادهٔ داده شده با استفاده از نسبت‌های مولی به‌دست آمده

پاسخ قسمت آ:

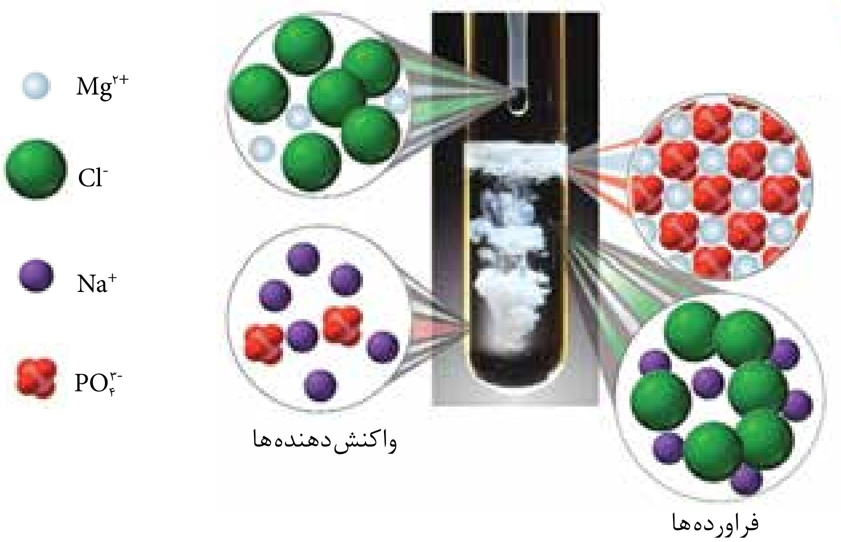
$$?mol\ \ H_2 = \underbrace{0/2\cancel{mol\ \ Zn}}_{\text{تعداد مول مادهٔ داده شده}} \times \underbrace{\frac{1mol\ \ H_2}{\cancel{1mol\ \ Zn}}}_{\text{نسبت مولی}} = \underbrace{0/2mol\ \ H_2}_{\text{تعداد مول مادهٔ خواسته‌شده}}$$

پاسخ قسمت ب:

$$?mol\ \ HCl = \underbrace{0/3\cancel{mol\ \ ZnCl_2}}_{\text{تعداد مول مادهٔ داده شده}} \times \underbrace{\frac{2mol\ \ HCl}{\cancel{1mol\ \ ZnCl_2}}}_{\text{نسبت مولی}} = \underbrace{0/6mol\ \ HCl}_{\text{تعداد مول مادهٔ خواسته‌شده}}$$

خود را بیازمایید

آ) با توجه به شکل زیر، معادلهٔ واکنش شیمیایی انجام شده را بنویسید و موازنه کنید.

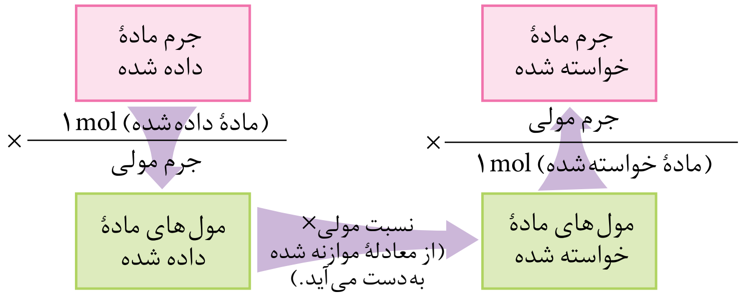


ب) از واکنش ۰/۵ مول سدیم فسفات با منیزیم کلرید کافی، چند مول منیزیم فسفات جامد تولید می‌شود؟

روابط جرمی ـ جرمی در محاسبه‌های استوکیومتری

همان‌گونه که می‌دانید جرم مولی میانگین هر ترکیب، از جمع جرم اتمی میانگین اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن به‌دست می‌آید. برای مثال جرم مولی میانگین آب و کربن دی‌اکسید به‌ترتیب ۱۸/۰ و ۴۴/۰ گرم بر مول است.

برای محاسبهٔ مقدار جرم فراورده(ها)ی حاصل از یک واکنش یا جرم مورد نیاز از واکنش‌دهنده(ها) برای تولید جرم مشخصی از یک فراورده، می‌توان از روابط استوکیومتری استفاده کرد. در چنین مواردی، معادلهٔ شیمیایی موازنه‌شدهٔ واکنش مبنای محاسبه‌های کمّی قرار می‌گیرد. استوکیومتری واکنش‌ها برحسب مول تفسیر می‌شود، بنابراین ابتدا باید با استفاده از جرم مولی، جرم مادهٔ داده شده را به مول تبدیل کرد. سپس با استفاده از نسبت‌های مولی، تعداد مول مادهٔ داده شده را به تعداد مول مادهٔ خواسته‌شده تبدیل کرد. سرانجام می‌توان با استفاده از جرم مولی مادهٔ خواسته شده، مقدار جرم آن را محاسبه کرد. شکل ۸ روند حل بسیاری از مسائل استوکیومتری را نشان می‌دهد.



شکل ۸ بسیاری از مسائل استوکیومتری، تبدیل جرم به مول و برعکس و استفاده از نسبت مولی در واکنش‌های شیمیایی را در بر می‌گیرد.

نمونهٔ حل شده

از واکنش ۱۷/۰ g نقره نیترات با مقدار کافی محلول سدیم کلرید چند گرم نقره کلرید به‌دست می‌آید؟

۱ـ نوشتن معادلهٔ موازنه‌شده

$$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$$

۲ـ محاسبهٔ تعداد مول‌های مادهٔ داده شده (نقره نیترات) با استفاده از جرم مولی آن

$$\text{تعداد مول نقره نیترات} = \text{جرم نقره نیترات (g)} \times \frac{\text{1 mol نقره نیترات}}{\text{جرم مولی نقره نیترات (g)}}$$

$$?mol\ AgNO_3 = 17/0g\ \cancel{AgNO_3} \times \frac{1mol\ AgNO_3}{170g\ \cancel{AgNO_3}} = 0/100mol\ AgNO_3$$

۳ـ محاسبهٔ تعداد مول های مادهٔ خواسته‌شده (نقره کلرید) با استفاده از نسب مولی به‌دست آمده از معادلهٔ موازنه‌شده

حفظ کردن واکنش‌های شیمیایی و اطلاعات داده شده در صورت پرسش‌ها، جزء هدف‌های کتاب درسی نیست و طرح سؤال از این موارد مجاز نیست.

$$\text{تعداد مول نقره کلرید} = \text{تعداد مول نقره نیترات} \times \text{نسبت مولی}$$

$$?mol\ AgCl = 0/100\ \cancel{mol\ AgNO_3} \frac{1mol\ AgCl}{\cancel{1mol\ AgNO_3}} = 0/100mol\ AgCl$$

۴ـ تبدیل تعداد مول مادهٔ خواسته شده (نقره کلرید) به جرم با استفاده از جرم مولی آن

$$\text{جرم نقره کلرید (g)} = \text{تعداد مول نقره کلرید} \times \frac{\text{جرم مولی نقره کلرید (g)}}{\text{1 mol نقره کلرید}}$$

$$?g\ AgCl = 0/100mol\ \cancel{AgCl} \times \frac{143/5g\ AgCl}{1mol\ AgCl} = 14/4\ g\ AgCl$$

همان‌گونه که ملاحظه کردید در هر گام با استفاده از یک ضریب تبدیل مناسب، یک عدد با یکای معین به عدد دیگری با یکای معین تبدیل می‌شود. به‌عبارتی در هر گام با یک تبدیل عددی ـ ابعادی روبه‌رو هستیم و به این ترتیب یک گام به حل نهایی (عددی با یکای دلخواه) نزدیک می‌شویم.

خود را بیازمایید

۱ـ کدام یک از گزینه‌های زیر جرم آب تولید شده از واکنش ۳/۲ مول گاز اکسیژن با هیدروژن سولفید کافی را به درستی نشان می‌دهد؟

$$2H_2S(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g) + 2SO_2(g)$$

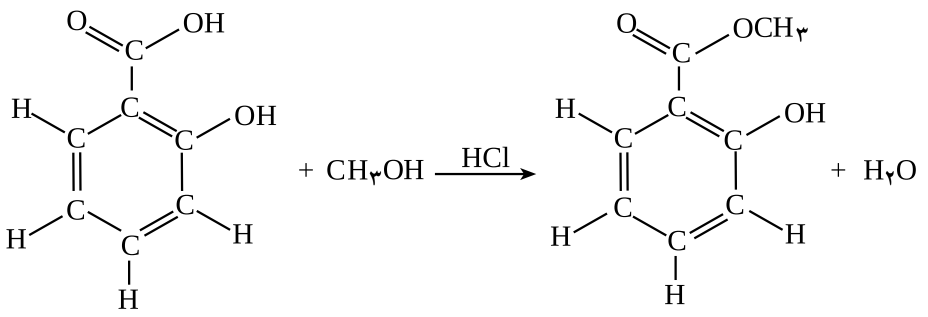
آ) $3/2\ molO_2 \times \frac{18g\ H_2O}{2mol\ H_2O}$

ب) $3/2\ \cancel{molO_2} \times \frac{\cancel{32g\ O_2}}{\cancel{1mol\ O_2}} \times \frac{18g\ H_2O}{\cancel{32g\ O_2}}$

پ) $3/2\ molO_2 \times \frac{2mol\ H_2O}{3mol\ O_2} \times \frac{18g\ H_2O}{1mol\ H_2O}$

ت) $$۳/۲\ mol O_۲ \times \frac{۳۲g\ \ O_۲}{۱mol\ \ O_۲} \times \frac{۲mol\ \ H_۲O}{۳mol\ O_۲}$$

۲ـ متیل سالیسیلات به عنوان طعم‌دهنده در مواد غذایی و دارویی، استفاده می‌شود. این ماده از واکنش متانول با سالیسیلیک اسید به‌دست می‌آید:

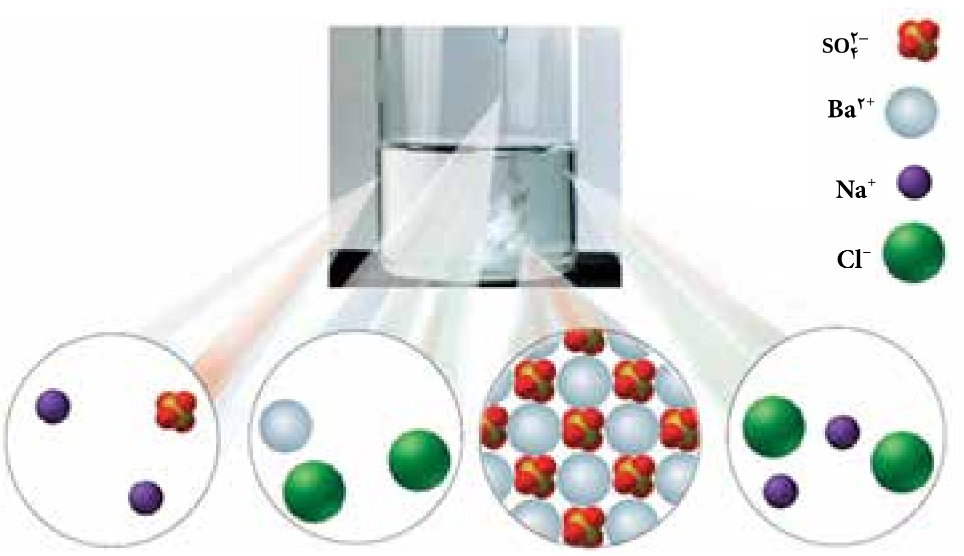


سالیسیلیک اسید (جرم مولی= $۱۳۸/۱\ g/mol$)   متانول   متیل سالیسیلات (جرم مولی =$۱۵۲/۲\ g/mol$)

چند گرم سالیسیلیک اسید بـرای تولید g ۳۲۵/۰ متیل سالیسیلات لازم است؟

۳ـ شکل زیر واکنش بین محلول‌های سدیم سولفات و باریم کلرید را نشان می‌دهد.

آ) معادلهٔ واکنش شیمیایی را بنویسید و موازنه کنید.



ب) از واکنش ۱۰۴/۱ گرم از باریم کلرید با مقدار اضافی از سدیم سولفات، چند گرم باریم سولفات رسوب می‌دهد؟

درصد خلوص مواد

در شکل زیر، دو نمونه گندمِ برداشت شده از زمین‌های کشاورزی را مشاهده می‌کنید. به‌نظر شما برای تهیهٔ مقدار معین و یکسانی از آرد گندم، از کدام نمونه باید مقدار بیشتری برداریم؟ چرا؟



آ) گندم خالص



ب) گندم ناخالص

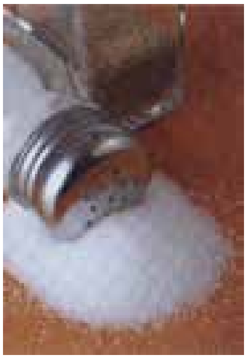
شکل ۹

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، یکی از این نمونه‌ها دارای ناخالصی است. در صنعت و آزمایشگاه نیز، اغلب واکنش‌دهنده‌ها ناخالص‌اند. به بیان دیگر، افزون بر مادهٔ شیمیایی مورد نظر، برخی ترکیب‌های دیگر نیز در آنها وجود دارند. برای نمونه، سدیم کلرید (نمک خوراکی) در طبیعت به‌صورت کانهٔ هالیت یافت می‌شود. به‌طوری‌که در هر ۲۰۰ گرم از این نمونه، ۱۹۵ گرم سدیم کلرید وجود دارد. ۵ گرم باقی‌مانده برای این کانه، ناخالصی به شمار می‌رود، شکل ۱۰. به‌نظر شما درصد خلوص برای این هالیت چند است؟

کانهٔ هالیت، یک نمونه ناخالص از سدیم کلرید است.



آ) کانهٔ هالیت



ب) نمک خوراکی

شکل ۱۰

شیمی‌دان‌ها برای بیان میزان خلوص یک نمونه، از درصد خلوص استفاده می‌کنند. بنابراین، در حین کار در آزمایشگاه و صنعت برای تأمین مقدار معینی از یک مادهٔ خالص، همواره باید مقدار بیشتری ازمادهٔ ناخالص در دسترس را به کار برد.

با استفاده از رابطهٔ درصد خلوص و محاسبات کمّی، می‌توان مقادیر موردنیاز از مادهٔ ناخالص را به‌دست آورد.

$$\text{درصد خلوص} = \frac{\text{جرم مادهٔ خالص}}{\text{جرم نمونهٔ ناخالص}} \times 100$$

نمونهٔ حل شده

یکی از روش‌های تولید گاز کلر در آزمایشگاه، واکنش دادن هیدروکلریک اسید با منگنز (IV) اکسید طبق معادلهٔ زیر است.

$$MnO_2(s) + 4HCl(aq) \longrightarrow MnCl_2(aq) + Cl_2(g) + 2H_2O(l)$$

برای تهیهٔ ۲۰/۰ g گاز کلر، به چند گرم نمونهٔ ناخالص منگنز (IV) اکسید با خلوص ۹۰٪ نیاز است؟ فرض کنید که این ناخالصی‌ها بی‌اثرند و در واکنش شرکت نمی‌کنند.

پاسخ: ابتدا باید جرم منگنز (IV) اکسید خالص مورد نیاز را محاسبه کرد. سپس با استفاده از درصد خلوص، جرم منگنز (IV) اکسید ناخالص را به‌دست آورد.

$$?mol\,Cl_2 = 20.0\,\cancel{g\,Cl_2} \times \frac{1\,mol\,Cl_2}{70.9\,\cancel{g\,Cl_2}} = 0.282\,mol\,Cl_2$$

$$?mol\,MnO_2 = 0.282\,\cancel{mol\,Cl_2} \times \frac{1\,mol\,MnO_2}{1\,\cancel{mol\,Cl_2}} = 0.282\,mol\,MnO_2$$

$$\text{جرم } MnO_2 \text{ خالص موردنیاز} = 0.282\,\cancel{mol\,MnO_2} \times \frac{86.9\,g\,MnO_2}{1\,\cancel{mol\,MnO_2}} = 24.5\,g\,MnO_2$$

$$\text{جرم } MnO_2 \text{ ناخالص موردنیاز} = 24.5\,\cancel{g\,MnO_2} \times \frac{100\,g\,\text{نمونهٔ ناخالص}}{90\,\cancel{g\,MnO_2}} = 27.2\,g\,\text{نمونهٔ ناخالص}$$

روابط حجمی گازها در محاسبه‌های استوکیومتری



ژوزف گی لوساک
(۱۷۷۸ـ۱۸۵)

محاسبه‌های حجمی در گازها بر پایهٔ کارهای ژوزف لویی گی لوساک شیمی‌دان و فیزیک‌دان فرانسوی بنا شده است. نتایج آزمایش‌های او به معرفی **قانون نسبت‌های ترکیبی** منجر شد. برطبق این قانون:

در دما و فشار ثابت، گازها با نسبت‌های حجمی معینی با هم واکنش می‌دهند.

این نسبت‌ها به‌طور مستقیم با نسبت ضریب‌های آنها در معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش متناسب است. برای مثال، واکنش سوختن کامل متان را درنظر بگیرید.

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

اگر همهٔ مواد شرکت کننده در واکنش در حالت گازی و در فشار و دمای یکسانی قرار

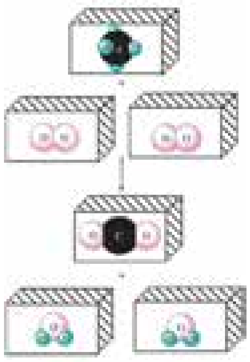
داشته باشند، می‌توان گفت که یک حجم گاز CH_4 با دو حجم گاز O_2 واکنش می‌دهد و یک حجم گاز CO_2 و دو حجم گاز H_2O تشکیل می‌شود، شکل ۱۱.

از بررسی معادلهٔ تصویری نمایش داده شده در شکل ۱۱ می‌توان چنین نتیجه گرفت که:

در فشار و دمای یکسان، یک مول از گازهای مختلف حجم ثابت و برابری دارند.

این همان نتیجه‌ای است که نخستین بار آووگادرو در سال ۱۸۱۱ به آن دست یافت. فرضیه‌ای که بعدها به **قانون آووگادرو** معروف شد.

همان‌گونه که می‌دانید حجم گازها تابعی از فشار و دمای آنها است. از این رو معمولاً حجم گازها را در دمای $0^\circ C$ (۲۷۳K) و فشار ۱ اتمسفر (۷۶۰mmHg) بیان می‌کنند. در این شرایط که به شرایط استاندارد (STP) معروف است، هر مول گاز، حجمی برابر ۲۲/۴L را اشغال می‌کند. این مقدار را **حجم مولی گازها در شرایط STP** می‌نامند، شکل ۱۲.



شکل ۱۱ معادلهٔ حجمی ترکیب شدن متان و اکسیژن. هر مکعب ۱L از آن گاز را نشان می‌دهد.

STP کوتاه‌شدهٔ **S**tandard **T**emperatuer and **P**ressure است.



شکل ۱۲ حجم مولی چند گاز در شرایط استاندارد

در حل بعضی مسائل استوکیومتری مربوط به گازها می‌توان با استفاده از قانون نسبت‌های حجمی، ضریب تبدیل حجمی ـ حجمی مناسب را از روی معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش پیدا کرد.

نمونهٔ حل شده

حجم اکسیژن مورد نیاز و نیز حجم‌های CO_2 و H_2O تولیدشده در هنگام سوختن کامل ۱/۵۰ L گاز اتان (C_2H_6) را محاسبه کنید.

$$2C_2H_6(g) + 7O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

پاسخ:

$$\text{حجم } O_2 \text{ مورد نیاز} = 1/50\,\cancel{L\,C_2H_6} \times \frac{7L\ O_2}{2\,\cancel{L\,C_2H_6}} = 5/25L\ O_2$$

$$\text{حجم } CO_2 \text{ تولید شده} = 1/50\,\cancel{L\,C_2H_6} \times \frac{4L\ CO_2}{2\,\cancel{L\,C_2H_6}} = 3/00L\ CO_2$$

$$\text{حجم } H_2O \text{ تولید شده} = 1/50\,\cancel{L\,C_2H_6} \times \frac{6L\ H_2O}{2\,\cancel{L\,C_2H_6}} = 4/50L\ H_2O$$

خود را بیازمایید

گازهای نیتروژن با هیدروژن طبق معادلهٔ زیر واکنش می‌دهد و گاز آمونیاک تولید می‌کند:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$$

در دما و فشار ثابت برای واکنش کامل L ۱۰/۰ نیتروژن، به چند لیتر هیدروژن نیاز است؟ در این شرایط چند لیتر گاز آمونیاک به‌دست می‌آید؟

در حل برخی دیگر از مسائل استوکیومتری گازها، می‌توان با استفاده از حجم مولی، ضرایب تبدیل مولی ـ حجمی مناسب را به‌دست آورد و از روی آن مقدار مادهٔ مورد نظر را محاسبه کرد.

نمونهٔ حل شده

بدن انسان در هر شبانه‌روز به‌طور متوسط ۴۴۵g گلوکز مصرف می‌کند. در این مدت هر انسان به‌طور متوسط در شرایط استاندارد به چند لیتر گاز اکسیژن برای اکسایش گلوکز نیاز دارد؟

$$C_6H_{12}O_6(aq) + 6O_2(g) \longrightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$$

پاسخ: ابتدا تعداد مول‌های گلوکز را از روی جرم مولی آن $(180/0\ g.mol^{-1})$ حساب می‌کنیم:

$$?mol\ C_6H_{12}O_6 = 445\ g\ \cancel{C_6H_{12}O_6} \times \frac{1mol\ C_6H_{12}O_6}{180/0\ g\ \cancel{C_6H_{12}O_6}} = 2/47 mol\ C_6H_{12}O_6$$

حال با استفاده از ضرایب معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش و حجم مولی گازها $(22/4\ L.mol^{-1})$ حجم گاز اکسیژن مورد نیاز را حساب می‌کنیم.

$$\text{حجم}\ O_2\ \text{موردنیاز} = 2/47\ \cancel{mol\ C_6H_{12}O_6} \times \frac{6mol\ O_2}{1\ \cancel{mol\ C_6H_{12}O_6}} \times \frac{22/4L\ O_2}{1\ \cancel{mol\ O_2}} = 332 L O_2$$

خود را بیازمایید

در شرایط استاندارد چند لیتر گاز H_2 از واکنش g ۴/۸۰ منیزیم با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید تولید می‌شود؟

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

در مواردی که واکنش در شرایطی غیر از STP انجام می‌شود می‌توان با استفاده از چگالی گازها، مقدار جرم آنها را به حجم یا برعکس تبدیل کرد.

نمونهٔ حل شده

سدیم هیدروژن کربنات مطابق واکنش زیر در اثر گرما تجزیه می‌شود.

$$2NaHCO_3(s) \longrightarrow H_2O(g) + Na_2CO_3(s) + CO_2(g)$$

از گرم کردن ۱/۵۰ g سدیم هیدروژن کربنات چند میلی لیتر گاز CO_2 آزاد می‌شود؟ در دمای واکنش چگالی CO_2، $1/10\ g.L^{-1}$ است.

پاسخ: ابتدا تعداد مول‌های سدیم هیدروژن کربنات را با استفاده از جرم مولی آن ($84/0\ g.mol^{-1}$) حساب می‌کنیم.

$$\text{تعداد مول های } NaHCO_3 = 1/50\ g\ NaHCO_3 \times \frac{1\ mol\ NaHCO_3}{84/0\ g\ NaHCO_3}$$

$$= 1/79 \times 10^{-2}\ mol\ NaHCO_3$$

سپس تعداد مول‌های CO_2 تولید شده را از روی نسبت مولی به‌دست آمده از معادلهٔ موازنه شده محاسبه کرده، با استفاده از جرم مولی، تعداد مول را به جرم تبدیل می‌کنیم:

$$?g\ CO_2 = 1/79 \times 10^{-2}\ mol\ NaHCO_3 \times \frac{1\ mol\ CO_2}{2\ mol\ NaHCO_3} \times \frac{44/0\ g\ CO_2}{1\ mol\ CO_2}$$

$$= 0/393\ g\ CO_2$$

جرم CO_2 تولید شده را با استفاده از چگالی آن به حجم تبدیل می‌کنیم:

$$?ml\ CO_2 = 0/393\ g\ CO_2 \times \frac{1\ L\ CO_2}{1/10\ g\ CO_2} \times \frac{1000\ mL\ CO_2}{1\ L\ CO_2}$$

$$= 357\ mL\ CO_2$$

خود را بیازمایید

۱ـ برای تصفیهٔ هوای درون فضاپیماها مطابق واکنش‌های زیر از تأثیر کربن دی‌اکسید بر لیتیم پراکسید (Li_2O_2) یا لیتیم هیدروکسید (LiOH) استفاده می‌شود:

$$2Li_2O_2(aq) + 2CO_2(g) \rightarrow 2Li_2CO_3(aq) + O_2(g)$$

$$2LiOH(aq) + CO_2(g) \rightarrow Li_2CO_3(aq) + H_2O(l)$$

هر فضانورد در شبانه‌روز به‌طور متوسط ۲۰/۰ مول CO_2 تولید می‌کند.

آ) اگر از واکنش اول برای تصفیهٔ هوا استفاده شود و در این واکنش همهٔ کربن‌دی‌اکسید تولید شده به‌مصرف برسد،مقدار اکسیژن تولید شده در یک شبانه‌روز چند لیتر خواهد بود؟ (چگالی اکسیژن را $1/4\ g.L^{-1}$ درنظر بگیرید.)

ب) به‌نظر شما استفاده از کدام واکنش برای تصفیهٔ هوای درون فضاپیما مناسب‌تر است؟ این موضوع را در کلاس به بحث بگذارید.

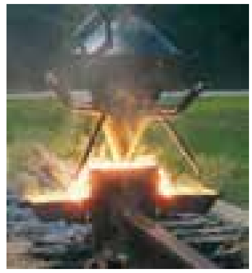
۲ـ در واکنش آلومینیم با آهن (III) اکسید، آهن مذاب تولید می‌شود. از آهن مذاب تولید شده برای جوشکاری استفاده می‌کنند.

حساب کنید برای تولید ۲۷۹ گرم آهن، چند گرم آلومینیم با درصد خلوص ۸۰درصد لازم است تا با مقدار کافی از آهن (III) اکسید واکنش بدهد؟

$$Fe_2O_3(s) + 2Al(s) \longrightarrow Al_2O_3(s) + 2Fe(l)$$



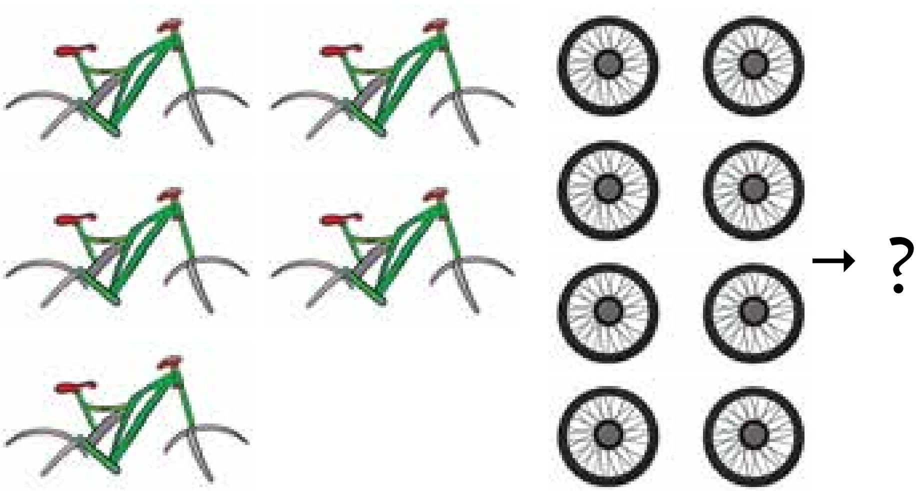
یک فضانورد در حال تعویض قوطی‌های تصفیهٔ هوای فضا پیما است.



از واکنش ترمیت برای جوش‌دادن خطوط راه‌آهن استفاده می‌شود.

واکنش‌دهندهٔ محدود کننده

همان‌طور که می‌دانید برای تولید هر دوچرخه به یک عدد بدنه و دو حلقه چرخ نیاز است. حال اگر ۸ حلقه چرخ و ۵ عدد بدنه در اختیار داشته باشید، چند عدد دوچرخه می‌توانید بسازید؟ شکل ۱۳



شکل ۱۳ برای تولید دوچرخه، تعداد بدنه‌ها کمتر است یا چرخ‌ها؟

برای ساختن دوچرخهٔ پنجم، به دو حلقه چرخ دیگر نیاز داریم. به بیان دیگر در این مثال تعداد دوچرخه‌های تولید شده، به تعداد بدنه‌های موجود بستگی ندارد؛ بلکه به تعداد چرخ‌ها بستگی دارد.

در واکنش‌های شیمیایی نیز چنین است. برای نمونه، در واکنش سوختن هیدروژن همواره ۲ مول گاز هیدروژن با ۱ مول گاز اکسیژن به‌طور کامل ترکیب می‌شود.

$$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$$

حال اگر در یک آزمایش، ۲ مول هیدروژن را با ۲ مول اکسیژن واکنش دهیم، انتظار دارید که کدام یک از واکنش‌دهنده‌ها به‌طورکامل مصرف شوند؟

به واکنش‌دهنده‌ای که به‌طور کامل مصرف می‌شود، **واکنش‌دهندهٔ محدودکننده** می‌گویند؛ بنابراین در آزمایش بالا، گاز H_2، محدودکننده است. هر چند نسبت‌های مولی مواد در واکنش‌های شیمیایی از قانون پایستگی جرم به‌دست می‌آید؛ اما، در آزمایشگاه و صنعت می‌توانیم به‌طور اختیاری مقدار یکی از واکنش‌دهنده‌ها را کمتر از مقدار استوکیومتری آن به‌کار ببریم تا از مصرف کامل آن اطمینان حاصل کنیم.

مقدار فراوردهٔ تولید شده به مقدار محدودکننده بستگی دارد.

انتخاب محدود کننده در صنعت به عوامل متعددی مانند قیمت، سهولت کاربرد و... بستگی دارد.

برای نمونه، برای تولید ۴۰۰ مول آهن از سنگ معدن آن، می‌توان ۲۰۰ مول Fe_2O_3 را با ۳۰۰ مول C واکنش داد .

$$2Fe_2O_3(s) + 3C(s) \longrightarrow 4Fe(l) + 3CO_2(g)$$

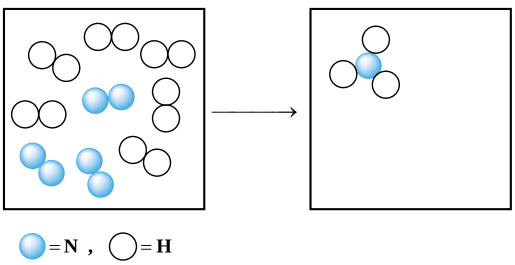
اما از آن‌جا که کربن ارزان‌تر است و جداسازی تمام آهن از سنگ معدن آن اهمیت فراوانی دارد، مقدار کربن را بیشتر از ۳۰۰ مول (برای نمونه ۳۳۰ مول) به کار می‌برند. از این رو در این واکنش، Fe_2O_3 محدودکننده است و تمام آن مصرف می‌شود.

فکر کنید

۱ـ آمونیاک را می‌توان از واکنش گاز H_2 با گاز N_2 به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$$

هرگاه مقداری از این دو گاز را مطابق شکل روبه‌رو در یک ظرف دربسته بریزیم و اجازه بدهیم با یکدیگر واکنش دهند:

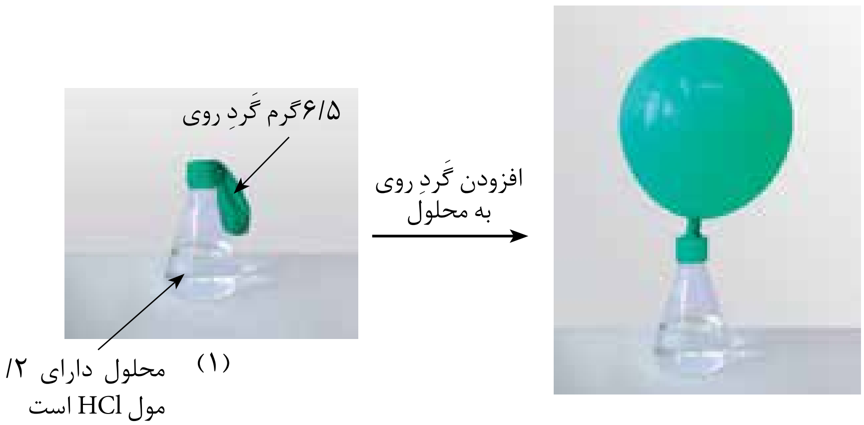


آ) تعداد مولکول‌های فراورده را تعیین و شکل سمت راست را کامل کنید.

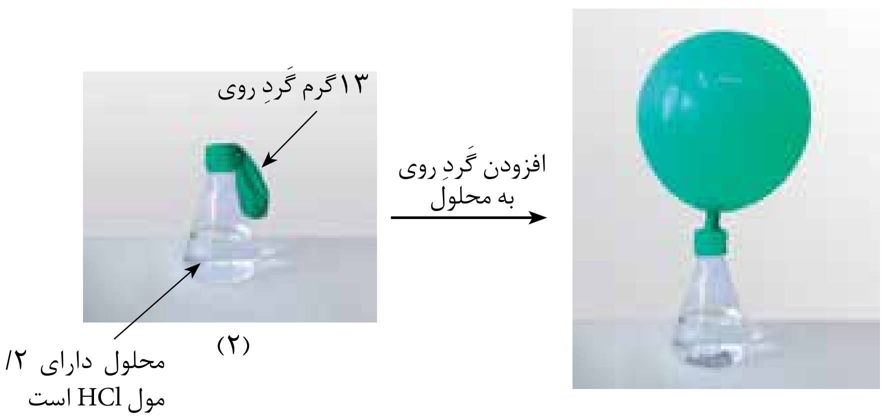
ب) کدام واکنش دهنده، محدودکننده است؟

۲ـ شکل‌های زیر، واکنش گَردِ فلز روی با محلول هیدروکلریک اسید را در دو آزمایش متفاوت نشان می‌دهد (دما $۲۵^{\circ}C$ است).

آزمایش اول: $Zn(s) + ۲HCl(aq) \rightarrow ZnCl_۲(aq) + H_۲(g)$



آزمایش دوم:



آغاز واکنش　　　　پایان واکنش

آ) با بررسی شکل‌ها و بدون محاسبه توضیح دهید، چرا حجم گاز تولید شده در دو آزمایش برابر است؟

ب) با محاسبهٔ تعداد مول‌های روی و با استفاده از ضرایب استوکیومتری، مشخص کنید که در آزمایش دوم کدام واکنش‌دهنده، محدودکننده است؟

برای تشخیص واکنش‌دهندهٔ محدودکننده در مسائل، می‌توان به شیوه‌های گوناگونی عمل کرد. یکی از این روش‌هایی را که طی دو مرحله به اجرا درمی‌آید با هم بررسی می‌کنیم.

گام نخست: جرم یا حجم واکنش‌دهنده‌ها را به تعداد مول آنها تبدیل کنید.

گام دوم: تعداد مول هر یک از واکنش‌دهنده‌ها را به ضریب استوکیومتری آن تقسیم کنید. سپس، هر واکنش‌دهنده‌ای که این «نسبت» برای آن عدد کوچک‌تری باشد، محدودکننده است.

نمونهٔ حل شده

برای تولید آمونیاک، ۲۵/۰kg نیتروژن و ۵/۰۰kg هیدروژن با یکدیگر مخلوط شده، واکنش می‌دهند. در این فرایند آ) واکنش‌دهندهٔ محدودکننده کدام است؟ ب) چه مقدار آمونیاک به‌دست می‌آید؟

$$N_۲(g) + ۳H_۲(g) \rightarrow ۲NH_۳(g)$$

پاسخ:

آ)

گام نخست: تبدیل جرم واکنش‌دهنده‌ها به مول

$$\text{تعداد مول‌های نیتروژن} = ۲۵/۰\,\cancel{kg\,N_۲} \times \frac{۱۰^۳\,\cancel{g\,N_۲}}{۱\,\cancel{kg\,N_۲}} \times \frac{۱mol\ N_۲}{۲۸/۰\,\cancel{g\,N_۲}}$$

$$= ۸/۹۳ \times ۱۰^۲\ mol\ N_۲$$

$$\text{تعداد مول‌های هیدروژن} = ۵/۰۰\,\cancel{kg\,H_۲} \times \frac{۱۰^۳\,\cancel{g\,H_۲}}{۱\,\cancel{kg\,H_۲}} \times \frac{۱mol\ H_۲}{۲/۰۲\,\cancel{g\,H_۲}}$$

$$= ۲/۴۸ \times ۱۰^۳\ mol\ H_۲$$

گام دوم: انتخاب واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

$$\frac{\text{مول ماده}}{\text{ضریب ماده}} \rightarrow N_۲: \frac{۸/۹۳ \times ۱۰^۲ mol}{۱mol} = ۸/۹۳ \times ۱۰^۲$$

$$\frac{\text{مول ماده}}{\text{ضریب ماده}} \rightarrow H_۲: \frac{۲/۴۸ \times ۱۰^۳ mol}{۳mol} = ۸/۲۷ \times ۱۰^۲$$

بنابراین $H_۲$ محدود کننده است.

گام سوم: اکنون مقدار آمونیاک را با استفاده از واکنش‌دهندهٔ محدودکننده یعنی $H_۲$ محاسبه می‌کنیم.

$$\text{جرم آمونیاک} = ۲/۴۸ \times ۱۰^۳\,\cancel{mol\,H_۲} \times \frac{۲\,\cancel{mol\,NH_۳}}{۳\,\cancel{mol\,H_۲}} \times \frac{۱۷/۰۳\,\cancel{g\,NH_۳}}{۱\,\cancel{mol\,NH_۳}}$$

$$\times \frac{۱kg\ NH_۳}{۱۰^۳\,\cancel{g\,NH_۳}} = ۲۸/۲\ kg\ NH_۳$$

خود را بیازمایید

۱ـ متانول (CH_3OH) به‌عنوان یک حلال و واکنش‌دهندهٔ مناسب برای تولید بسیاری از مواد شیمیایی در صنعت شناخته می‌شود. به تازگی نیز در برخی کشورها به‌عنوان یک سوخت تمیز برای خودروها کاربرد یافته است. متانول را می‌توان از واکنش کربن مونواکسید و هیدروژن به‌دست آورد:

$$CO(g) + 2H_2(g) \rightarrow CH_3OH(l)$$

از واکنش کامل ۳۵۶g CO با ۶۵ gH_2 چند گرم متانول به‌دست می‌آید؟

۲ـ سیلیسیم خالصی را که در تراشه‌های الکترونیکی و نیز در سلول‌های خورشیدی به کار می‌برند، از واکنش سیلیسیم تتراکلرید مایع و منیزیم خالص، طبق واکنش زیر تهیه می‌کنند:

$$SiCl_4(l) + 2Mg(s) \rightarrow Si(s) + 2MgCl_2(s)$$

چند گرم سیلیسیم خالص از واکنش کامل ۲۲۵ g $SiCl_4$ و ۲۲۵ g Mg به‌دست می‌آید؟

بازده واکنش‌های شیمیایی

در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که برای تهیهٔ مواد شیمیایی به کار می‌روند، مقدار فراورده‌های به‌دست آمده کمتر از مقدار محاسبه شده است. مقدار فراورده‌های مورد انتظار از محاسبه‌های استوکیومتری، **مقدار نظری** واکنش است، درحالی که **مقدار عملی** یعنی مقدار فراورده‌ای که در عمل تولید می‌شود، اغلب کمتر از مقدار نظری است.

بازده درصدی یک واکنش نسبت این دو مقدار است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100$$

شیمی‌دان‌ها همواره درجهت افزایش بازده درصدی فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی تلاش می‌کنند، با این حال بازده اغلب واکنش‌ها کمتر از صددرصد است.

بازده درصدی واکنش را می‌توان با استفاده از روش گام‌به‌گام زیر به‌دست آورد:

۱ـ تعیین واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

۲ـ محاسبهٔ مقدار نظری (بیشترین مقدار ممکن فراورده) با استفاده از مقدار واکنش‌دهندهٔ محدودکننده.

۳ـ محاسبهٔ بازده درصدی واکنش با استفاده از رابطهٔ بالا.

نمونهٔ حل شده

۳۵/۵ g از گرد فلز روی خالص با مقدار اضافی گاز کلر واکنش می‌دهد. پس از پایان واکنش ۶۵/۲ g روی کلرید به‌دست می‌آید. بازده درصدی این واکنش را حساب کنید.

$$Zn(s) + Cl_2(g) \rightarrow ZnCl_2(s)$$

۱ـ پیدا کردن واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

گاز کلر به‌مقدار اضافی وجود دارد، پس فلز روی واکنش‌دهندهٔ محدودکننده است.

۲ـ محاسبهٔ مقدار نظری واکنش از روی مقدار واکنش‌دهندهٔ محدودکننده

$$? \text{ mol Zn} = ۳۵/۵ \text{ g Zn} \times \frac{۱\text{mol Zn}}{۶۵/۳۸ \text{ g Zn}} = ۰/۵۴۳ \text{ mol Zn}$$

$$? \text{ mol } ZnCl_2 = ۰/۵۴۳ \text{ mol Zn} \times \frac{۱\text{mol } ZnCl_2}{۱ \text{ mol Zn}} = ۰/۵۴۳ \text{ mol } ZnCl_2$$

$$\text{مقدار نظری واکنش} = ۰/۵۴۳ \text{ mol } ZnCl_2 \times \frac{۱۳۶/۲۸\text{g } ZnCl_2}{۱ \text{ mol } ZnCl_2} = ۷۴/۰ \text{ g } ZnCl_2$$

۳ـ محاسبهٔ بازده درصدی واکنش

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی واکنش}}{\text{مقدار نظری واکنش}} \times ۱۰۰ = \frac{۶۵/۲\text{g } ZnCl_2}{۷۴/۰\text{g } ZnCl_2} \times ۱۰۰ = ٪۸۸/۱$$

خود را بیازمایید

۱ـ برای تولید روی سولفید از واکنش دادن روی و گوگرد طبق معادلهٔ زیر استفاده می‌کنند.

$$Zn(s) + S(s) \xrightarrow{\Delta} ZnS(s)$$

در یک آزمایش ۳۶/۰g روی را با ۳۰/۰g گوگرد واکنش داده‌اند و مقدار ۴۲/۵g روی سولفید به‌دست آورده‌اند. بازده درصدی این واکنش را حساب کنید.

۲ـ گاز متان را می‌توان از واکنش زغال‌سنگ با بخار آب بسیار داغ تهیه کرد.

$$۲C(s) + ۲H_2O(g) \xrightarrow{\Delta} CH_4(g) + CO_2(g)$$

درصورتی که بازده درصدی واکنش ٪۸۵/۰ باشد، چند کیلوگرم متان از واکنش ۲/۰۰kg زغال‌سنگ با مقدار اضافی بخار آب به‌وجود می‌آید؟

بیشتر بدانید

در برخی از شاخه‌های شیمی برای مثال شیمی تجزیه، تنها واکنش‌هایی سودمندند که بازده آنها ۱۰۰٪ باشد. در شاخه‌های دیگر، به‌ندرت می‌توان به بازده ۱۰۰٪ در یک واکنش دست یافت، از این‌رو بهبود بازده درصدی یک واکنش اهمیت زیادی پیدا می‌کند. محاسبهٔ بازده همواره در واکنش‌های سنتزی بویژه در سنتز مواد آلی بسیار مهم است. به‌عنوان مثال، واکنش تولید دی‌اتیل‌اتر از اتانول را درنظر بگیرید. این واکنش که یک واکنش تراکمی است (چرا؟) درحضور سولفوریک اسید غلیظ به‌عنوان کاتالیزگر انجام می‌شود.

$$2CH_3CH_2OH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2OCH_2CH_3 + H_2O$$

اتانول — دی‌اتیل‌اتر — آب

نوشتن این واکنش روی کاغذ آسان، اما انجام آن در آزمایشگاه با تنگناهای زیادی همراه است. یکی از مهم‌ترین تنگناها این است که همواره طی واکنش، مقداری اتانول به اِتن تبدیل می‌شود.

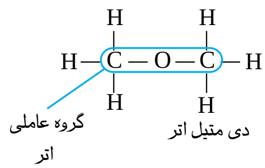
$$CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_2{=}CH_2 + H_2O$$

اتانول — اِتن — آب

بدیهی است مولکول‌های اتانولی که به اِتن تبدیل شده‌اند، دیگر نمی‌توانند به دی‌اتیل‌اتر تبدیل شوند؛ از این رو، بازده تولید دی‌اتیل‌اتر کاهش می‌یابد.

افزون بر مشکلی که به آن اشاره شد، تنگناهای عملی نیز وجود دارد. به‌عنوان مثال، دی‌اتیل‌اتر خالص را از طریق تقطیر مخلوط واکنش تهیه می‌کنند، اما همواره مقداری دی‌اتیل‌اتر در ظرف تقطیر باقی می‌ماند. همچنین، مقداری اتانول ممکن است همراه با اتر تبخیر شود. حتی در بهترین شرایط، دست‌یافتن به بازده بیشتر از ۸۰ تا ۸۵ درصد دشوار است. اغلب، شیمی‌دان‌ها ناچارند به بازدهٔ ۵۰ درصد یا حتی کمتر از آن بسنده کنند. از این رو دانشمندان شیمی آلی در صدد یافتن واکنش‌هایی با بازده بالا هستند یا تلاش می‌کنند با بهینه کردن شرایط واکنش، بازده واکنش‌های شناخته شده را افزایش دهند. تلاش در این مسیر زمینه‌ساز تحول‌های چشمگیری در دانش شیمی و کاربردهای آن در صنعت بوده است.

اتر به دسته‌ای از ترکیب‌های آلی گفته می‌شود که در ساختار آنها یک اتم اکسیژن به دو اتم کربن متصل شده است.



دی متیل اتر

دی‌اتیل‌اتر شناخته شده‌ترین اتر است. این مایع فرّار و آتش‌گیر در گذشته به‌عنوان بی‌هوش‌کننده کاربرد گسترده‌ای داشت اما به‌دلیل آثار نامطلوب آن روی مجاری تنفسی و احتمال آتش‌گیری و انفجار امروزه به‌ندرت از آن استفاده می‌شود.

$$CH_3CH_2{-}O{-}CH_2CH_3$$

دی‌اتیل اتر

استوکیومتری و زندگی

در این بخش با برخی کاربردهای استوکیومتری آشنا شدید. در اینجا به چند کاربرد دیگر استوکیومتری به‌ویژه در صنایع خودروسازی اشاره می‌کنیم. طراحان خودرو از استوکیومتری برای افزایش ایمنی و بازده موتورها و کاهش آلودگی محیط زیست استفاده می‌کنند. درواقع افزایش ایمنی ناشی از کاربرد کیسه‌های هوا در خودروها و بازده بالای ناشی از بهسوزی سوخت، آن هم با کمترین اثرهای تخریبی روی محیط زیست، به رعایت اصول استوکیومتری وابسته است.

کیسه‌های هوا

کیسه‌های هوا یکی از تازه‌ترین دستاوردهای صنایع خودروسازی است که در جهت افزایش ایمنی سرنشینان طراحی و تولید شده است. همان گونه که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، هنگام برخورد شدید خودرو، کیسه‌هایی که در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده‌اند، به‌سرعت از گاز پر می‌شوند و از برخورد سرنشینان به شیشه و قسمت جلویی اتاق، جلوگیری به عمل می‌آورند. کارآیی این مجموعه به تولید گاز کافی در کمترین زمان ممکن بستگی دارد.



شکل ۱۴ باد شدن سریع کیسه‌های هوا هنگام برخورد شدید خودرو ناشی از انجام یک واکنش سریع شیمیایی است که طی آن حجم زیاد ولی کنترل شده‌ای از گاز نیتروژن تولید می‌شود.

تولید گاز در این کیسه‌ها به‌علت انجام سریع یک واکنش شیمیایی است. حسگرهایی در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده‌اند که در هنگام برخورد شدید، فعال می‌شوند و باعث منفجر شدن یک کلاهک انفجاری کوچک می‌شوند. این انفجار، انرژی موردنیاز برای آغاز واکنشی را فراهم می‌آورد که **مولد گاز** نام دارد.

گازی که به سرعت کیسه‌ها را پر می‌کند، گاز نیتروژن (N_2) است. این گاز از واکنش تجزیه‌ای زیر فراهم می‌شود:

$$2NaN_3(s) \rightarrow 2Na(s) + 3N_2(g)$$

این واکنش به‌تنهایی نمی‌تواند باعث پرشدن ناگهانی کیسه‌ها شود. به‌علاوه در این واکنش سدیم فلزی نیز تولید می‌شود که مادهٔ فعال(واکنش‌پذیر) و خطرناکی است. برای حل این مشکل از واکنش بسیار سریع آهن (III) اکسید با سدیم فلزی استفاده می‌شود.

$$6Na(s)+Fe_2O_3(s) \rightarrow 3Na_2O(s)+2Fe(s)+\text{گرما}$$

این واکنش دما را به‌طورناگهانی تا بیش از یک‌صد درجه بالا می‌برد و باعث انبساط سریع گاز درون کیسه‌ها می‌شود، (چرا؟). سدیم اکسید حاصل در اثر مجاورت با کربن دی‌اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات که ماده‌ای بی‌خطر است، تبدیل می‌شود.

$$Na_2O(s)+2CO_2(g)+H_2O(g) \rightarrow 2NaHCO_3(s)$$

هشدار

متأسفانه، در یک بررسی که در آن بیش از ۱مورد گزارش تصادف ارائه شده بود نه تنها کیسهٔ هوا از تلفات جانی جلوگیری نکرده، بلکه علت اصلی مرگ نیز بوده است. بیشتر این قربانیان، نوزادان یا کودکان خردسال بوده‌اند؛ از این رو، کارشناسان توصیه می‌کنند که از نشاندن کودکان زیر ۱۲سال روی صندلی جلوی خودروها به ویژه خودروهایی که مجهز به کیسهٔ هوا هستند، خودداری شود. همچنین، باز شدن کیسهٔ هوا در برخی موارد موجب زخمی شدن یا حتی مرگ رانندگانی شده که فاصلهٔ آنها تا فرمان خودرو بسیار کم بوده است. حداقل این فاصله باید ۲۵سانتی‌متر باشد. رعایت این فاصله برای رانندگان بلندقد آسان است، اما رانندگان کوتاه قد، برای آن که پایشان به پدال گاز، ترمز و کلاچ برسد، ناچارند که بیش از اندازه، خود را به فرمانِ خودرو نزدیک کنند. برای حل این مشکلات به تازگی نسل جدیدی از کیسه‌های هوا به بازار آمده است که به آن **هوشمند** گفته می‌شود. سرعت بازشدن این کیسه‌ها برحسب شدت تصادف، قد و وزن راننده و فاصلهٔ سر راننده تا فرمان خودرو تغییر می‌کند.



حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسهٔ هوا با حجم مشخص، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد. برای محاسبهٔ مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه‌های هوا، طراحان این کیسه‌ها باید با استوکیومتری واکنش‌ها و تغییر انرژی آنها (که باعث تغییر دما و بنابراین تغییر چگالی گازها می‌شود) به‌خوبی آشنا باشند.

خود را بیازمایید

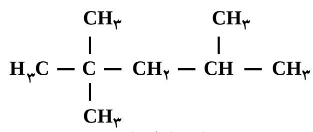
فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسهٔ هوا به ۶۵/۱ لیتر گاز $N_۲$ نیاز است. برای تولید این مقدار گاز $N_۲$ دستگاه مولد گاز به چند گرم $NaN_۳(s)$ نیاز دارد؟ چگالی گاز $N_۲$ در دمای واکنش به‌طور تقریبی $۰/۹۱۶\ g.L^{-۱}$ است.

افزایش کارآیی موتورها

بهسوزی موتور خودرو به‌رعایت اصول استوکیومتری بستگی دارد. وقتی رانندگان برای افزایش سرعت پا را بر پدال گاز می‌فشارند، سرعت جریان سوخت به موتور بیشتر می‌شود و بنابراین مقدار انرژی آزاد شده از سوختن بنزین افزایش می‌یابد. معادلهٔ نوشتاری زیر تولید انرژی در فرایند سوختن کامل بنزین را نشان می‌دهد:

انرژی + آب + کربن‌دی‌اکسید ← اکسیژن هوا + بنزین

در واقع این معادلهٔ نوشتاری، واکنش‌دهنده‌ها را به‌خوبی مشخص نمی‌کند، زیرا بنزین یک مادهٔ شیمیایی ساده نیست و مخلوطی از چند هیدروکربن متفاوت با ۵ تا ۱۲ اتم کربن است. به‌طور میانگین می‌توان بنزین مورد استفاده در خودروها را ایزواوکتان خالص (با ۸ اتم کربن) درنظر گرفت و معادلهٔ نمادی سوختن بنزین را برای آن به‌صورت زیر نوشت:


ایزواوکتان

$$۲C_۸H_{۱۸}(g)+۲۵O_۲(g)\rightarrow ۱۶CO_۲(g)+۱۸H_۲O(g)+۱۰۹۰۰kJ$$

دو واکنش‌دهنده باید در یک نسبت نزدیک به نسبت‌های مولی معادلهٔ موازنه شدهٔ واکنش با هم مخلوط شوند. فراموش نکنید که تنها حدود ۲۰ درصد از حجم هوا را اکسیژن تشکیل می‌دهد و بنابراین راه مناسب بهسوزی موتور، تنظیم عملی نسبت هوا به سوخت است. اگر هریک از واکنش‌دهنده‌ها به مقداری بیشتر از نسبت استوکیومتری استفاده شود، موتور کارآیی خوبی نخواهد داشت و حتی ممکن است خاموش شود. کارکرد نادرست موتور خودرو که به واسطهٔ سوختن ناقص بنزین به وقوع می‌پیوندد، نه تنها باعث کاهش توان خودرو می‌شود بلکه مصرف سوخت را بالا می‌برد و این خود افزایش آلودگی هوا را درپی خواهد داشت.

فکر کنید

نسبت مولی سوخت به اکسیژن در موتور خودرویی که با سرعت معمولی حرکت می‌کند، به‌جای نسبت استوکیومتری ۱ به ۱۲/۵ در نسبت ۱ به ۱۶ نگهداری می‌شود. این درحالی است که هنگام روشن کردن موتور این نسبت ۱ به ۱۲ و در هنگامی که موتور درجا کار می‌کند، این نسبت ۱ به ۹ است. در هر حالت واکنش‌دهندهٔ محدودکننده کدام است؟

بیشتر بدانید

جابربن حیان بنیانگذار مسلمان شیمی

ابوموسی جابربن‌حیان کیمیاگر برجستهٔ مسلمان در سال ۱۰۰ هجری شمسی (۷۲۱ میلادی) در شهر طوس از توابع خراسان دیده به جهان گشود. مدت کوتاهی پس از تولد جابر، پدرش که خود یک داروساز شناخته شدهٔ عرب و مسلمان پیرو اهل‌بیت (ع) بود به دلیل نقشی که در طرح براندازی حکومت اموی داشت دستگیر شد و به شهادت رسید. پیشهٔ پدر و مطالعهٔ یادداشت‌های به‌جای مانده از او نقش مهمی در علاقه‌مند شدن جابر به داروسازی و کیمیاگری داشت. با این حال با شوق فراوان به یادگیری علوم دیگر نیز می‌پرداخت. اشتیاق فراگیری قرآن مجید و بهره‌مند شدن از محضر پرفیض حضرت امام جعفر صادق (ع) سبب شد که به شهر کوفه کوچ کند. هجرتی که بی‌تردید موجبات شکوفایی استعدادهای نهفتهٔ جابر را فراهم آورد.

شهرت جابر بیشتر به‌دلیل سهمی است که در پیشرفت دانش شیمی داشته است. او همواره بر اجرای هدفمند و نظام‌دار فعالیت‌های تجربی تأکید داشت و تلاش بسیاری برای خرافه‌زدایی از کیمیاگری و تبدیل آن به یک علم تجربی کرد. نوآوری انواع گوناگونی از وسایل آزمایشگاهی از جمله اَنبیق به‌نام وی ثبت شده است. کشف مواد شیمیایی متعددی مانند هیدروکلریک اسید، نیتریک اسید، تهیهٔ تیزاب (مخلوطی از دو اسید یاد شده که از جمله اندک موادی است که طلا را در خود حل می‌کند)، سیتریک اسید (جوهر لیمو) و استیک اسید (جوهر سرکه) همچنین معرفی فرایندهای تبلور و تقطیر که هر دو سنگ بنای شیمی امروزی به‌شمار می‌آیند همگی از نتایج تلاش خستگی‌ناپذیر این شیمی‌دان سرشناس است. وی یافته‌های زیادی دربارهٔ روش‌های استخراج و خالص‌سازی طلا، جلوگیری از زنگ زدن آهن، حکاکی روی طلا، رنگرزی و نم‌ناپذیر کردن پارچه‌ها و تجزیهٔ مواد شیمیایی ارائه داد. همچنین بذر دسته‌بندی امروزی عنصرها به فلز و نافلز را می‌توان در دست‌نوشته‌های وی یافت.

جابر کتاب‌ها و رساله‌های بسیاری نوشت که سال‌ها بعد توجه کیمیاگران اروپایی را به خود جلب کرد. اروپایی‌ها تعدادی از این کتاب‌ها را به زبان لاتین ترجمه کردند و سال‌ها از آنها به‌عنوان منابع علمی معتبر استفاده می‌کردند. به گفتهٔ بسیاری از غربی‌ها محتوای کتاب‌های جابر تأثیر ژرفی بر دیدگاه کیمیاگران اروپایی گذاشت و سال‌ها بعد مبدأ تحولات شگرفی در دانش شیمی شد. اگرچه



ابوبکر محمدبن‌زکریای رازی
(۲۰۹-۲۴۲ هجری شمسی)
(۸۶۴-۹۲۰ میلادی)
شیمی‌دان، ریاضی‌دان، فیلسوف، ستاره‌شناس و پزشک ایرانی، وی ترکیب‌های شیمیایی متعددی را تهیه کرد که از آن میان می‌توان به اتانول اشاره کرد. با مراجعه به شبکهٔ جهانی وب دربارهٔ این شخصیت برجستهٔ ایرانی ـ اسلامی اطلاعات جمع‌آوری کرده، نتیجه را به‌صورت روزنامهٔ دیواری در کلاس ارائه دهید.



این نقاشی توسط اروپایی‌های سده پانزدهم میلادی کشیده شده است.



انبیق، وسیلهٔ ساده‌ای که جابر به منظور تقطیر مواد طراحی کرد. این ظرف برای گرم‌کردن مخلوط‌ها و جمع‌آوری و هدایت بخارهای حاصل به کار می‌رفت.

جابربن‌حیان در سال ۱۹۴ هجری شمسی (۸۱۵ میلادی) ـ نزدیک به هزار و دویست سال پیش ـ در شهر کوفه در عراق چشم از جهان فرو بست ولی نام و دستاوردهای این چهرهٔ گران‌سنگ تاریخ تمدن اسلامی هرگز از یادها نرفت.

بخش ۲

ترمودینامیک شیمیایی



انرژی گرمایی و قابلیت آن برای تبدیل شدن به انرژی مکانیکی، پویایی به ارمغان آورده است.

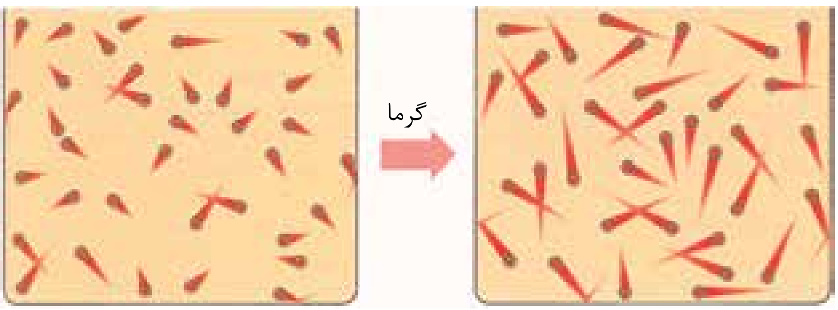
سوختن نفت و زغال‌سنگ با آزاد شدن مقدار زیادی انرژی به‌صورت گرما همراه است که از این گرما می‌توان برای گرم کردن خانه، پختن غذا یا به حرکت درآوردن وسایل نقلیه استفاده کرد. شاید این گفته که: «یک لوکوموتیو بخار با سوزاندن چهارده گرم زغال‌سنگ می‌تواند دو تُن بار را ۱۶۰۰ متر جابه‌جا کند!» تأکید کند که همواره برای انجام هر کاری به یک منبع انرژی نیاز داریم، اما مهم‌تر از آن یادآوری این نکته است که هر تغییر فیزیکی یا شیمیایی که چنین نتیجه‌ای را در پی دارد، نمی‌تواند بدون مبادلۀ انرژی میان مواد روی داده باشد.

مطالعۀ کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده طی واکنش‌های شیمیایی، تغییر آن و تأثیری که بر حالت ماده دارد،موضوع‌هایی هستند که در شاخه‌ای از شیمی بررسی می‌شوند که **ترموشیمی** یا **گرماشیمی** نامیده شده است.

انرژی و ذره‌های سازندهٔ ماده

می‌دانید که هر جسم در حال حرکت دارای انرژی جنبشی است. از آنجا که ذره‌های سازندهٔ ماده یعنی اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌ها نیز پیوسته در حرکت‌اند، پس همهٔ آنها دارای انرژی جنبشی هستند. این گفته به این معناست که همهٔ مواد انرژی دارند. در واقع انرژی آنها مجموع انرژی ذره‌های سازندهٔ آنهاست.

همچنین می‌دانید که گرما صورتی از انرژی است. هنگامی که یک جسم گرم می‌شود، مقدار انرژی آن جسم افزایش می‌یابد. در واقع طی این فرایند، انرژی جذب شده، در میان ذره‌های سازندهٔ آن جسم توزیع می‌شود. پس می‌توان انتظار داشت که ذره‌های یادشده با سرعتی بیشتر از پیش به حرکت خود ادامه دهند، شکل ۱.



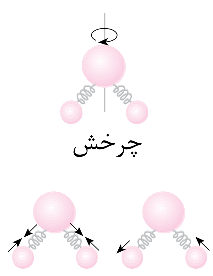
شکل ۱ ذره‌های تشکیل دهندهٔ ماده، پیوسته و به‌طور نامنظم در حرکت‌اند. در اثر گرم شدن، دمای جسم افزایش می‌یابد و بر سرعت حرکت ذره‌های سازندهٔ آن افزوده می‌شود.

اگر دما را معیاری از میزان گرمی یک جسم تعریف کنیم، در این صورت با گرم شدن یک جسم دمای آن نیز بالا می‌رود. به بیان دیگر، دانستن دمای یک جسم اطلاعات سودمندی دربارهٔ انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره‌های سازندهٔ آن جسم در اختیار ما می‌گذارد. بنابراین اختلاف دمای میان دو جسم، ما را از اختلاف در انرژی جنبشی ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ آن دو آگاه می‌سازد.

حرکت‌های نامنظم ذره‌های سازندهٔ یک ماده را حرکت‌های گرمایی می‌گویند.

اکنون این پرسش به ذهن خطور می‌کند که این انرژی جنبشی، در ذره‌های سازندهٔ یک ماده صرف چه می‌شود؟ آیا حرکت از جایی به جای دیگر (حرکت انتقالی) تنها حرکت ممکن برای ذره‌های ماده است؟

نمایش حرکت چرخشی و ارتعاشی در یک مولکول سه اتمی (مولکول آب)



اگر دو گلولهٔ آهنی سبک را به فنری متصل کرده، آنها را به سمت بالا پرتاب کنید، مجموعهٔ یادشده حرکت‌های متفاوتی را از خود نشان خواهد داد. این مجموعه از یک نقطه به نقطهٔ دیگری جابه‌جا می‌شود، یعنی دارای حرکت انتقالی است. به دور خود می‌چرخد، پس حرکت چرخشی هم دارد. همچون فنر، کشیده و جمع می‌شود یا به عبارتی به نوسان درمی‌آید، پس می‌توان گفت که مجموعه دارای حرکت ارتعاشی نیز هست. این الگو نشان می‌دهد که ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ ماده، می‌توانند حرکت‌های انتقالی، چرخشی و ارتعاشی

داشته باشند. مشاهده‌های تجربی وجود چنین حرکت‌هایی را در ذره‌های سازندهٔ ماده به اثبات رسانده است.

همهٔ این حرکت‌ها به انرژی نیاز دارند. بنابراین با افزایش دمای یک جسم، انرژی جذب شده توسط ذره‌ها، میان همهٔ این حرکت‌ها توزیع می‌شود تا به این ترتیب هزینهٔ اجرای آنها تأمین شود. تجربه نشان می‌دهد که توزیع انرژی میان همهٔ ذره‌های ماده یکسان نیست(چرا؟)، از این رو همواره میانگین انرژی همهٔ آنها اندازه‌گیری می‌شود.

آیا انرژی ماده به مقدار آن بستگی دارد؟

دو لیوان آب را در نظر بگیرید. یکی دارای ۱۰۰mL و دیگری دارای ۲۰۰mL آب است. دمای آب درون هر دو لیوان نیز یکسان و برابر با ۲۵°C است. آیا برای افزایش دمای آب هر دو ظرف تا ۵۰°C، به انرژی یکسانی نیاز است؟

با کمک مفهومی به نام **ظرفیت گرمایی** می‌توان به این پرسش پاسخ داد. می‌دانید که ظرفیت گرمایی یک جسم، گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای آن به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس است. بنابراین هرچه مقدارِ ماده بیشتر باشد، گرمای بیشتری نیز برای افزایش دمای آن به این اندازه لازم است.

به دلیل وابستگی ظرفیت گرمایی یک جسم به جرم آن، می‌توان با استفاده از ظرفیت گرمایی ویژه، این وابستگی را از بین برد. ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم از جسم به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس لازم است. ظرفیت گرمایی ویژهٔ یک جسم را می‌توان به‌صورت زیر نیز بیان کرد.

$$\text{ظرفیت گرمایی ویژه} = \frac{\text{ظرفیت گرمایی}}{\text{جرم جسم}} = \frac{\text{مقدار گرمای مبادله‌شده}}{\text{جرم جسم} \times \text{تغییر دما}}$$

در این رابطه اگر تغییر دما برابر با یک درجهٔ سلسیوس باشد و جرم جسم نیز یک گرم در نظر گرفته شود، در این صورت ظرفیت گرمایی ویژهٔ جسم با مقدار گرمای مبادله شده برابر خواهد بود.

اگر مقدار گرمای مبادله شده را با q، ظرفیت گرمایی ویژه را با c، جرم جسم را با m و اختلاف دما را با ΔT نشان دهیم، آنگاه خواهیم داشت:

$$c = \frac{q}{m.\Delta T}$$

در شیمی یکای ظرفیت گرمایی ویژه، ژول بر گرم بر درجهٔ سلسیوس ($J.g^{-1}.\ C^{-1}$) است. در جدول ۱ ظرفیت گرمایی ویژهٔ برخی مواد داده شده است.

ژول و کالری یکاهای رایج انرژی‌اند. ژول یکای انرژی در سیستم SI است و به افتخار جیمز ژول فیزیک‌دان انگلیسی به این نام خوانده می‌شود.
ژول یکای کوچکی است؛ از این‌رو برای گزارش مقادیر انرژی از کیلوژول (kJ) که معادل هزار ژول است استفاده می‌شود.

۱kJ=۱ J

هر تپش قلب انسان به حدود ۱J انرژی نیاز دارد.
یک کالری مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک گرم آب خالص به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس است.
۱cal=۴/۱۸۴J

مقدار گرمای مبادله‌شده = تغییر دما × ظرفیت گرمایی

دلتا،Δ، یک حرف یونانی است و برای نشان‌دادن تغییر یک متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال Δx به معنی $x_2 - x_1$ است.

اگر دما برحسب کلوین بیان شود، واحد ظرفیت گرمایی ویژه، ژول بر گرم بر کلوین ($J.g^{-1}.K^{-1}$) است.

در شیمی بیشتر از **ظرفیت گرمایی مولی** استفاده می‌شود. ظرفیت گرمایی مولی، مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس ($1\ ^{\circ}C$) است. یکای ظرفیت گرمایی مولی، ژول بر مول بر درجهٔ سلسیوس ($J.mol^{-1}.\ ^{\circ}C^{-1}$) است.

جدول ۱ ظرفیت گرمایی ویژهٔ برخی مواد در دمای اتاق ($25^{\circ}C$)

ماده	حالت فیزیکی	ظرفیت گرمایی ویژه ($J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)	ظرفیت گرمایی مولی ($J.mol^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
آب (یخ)	جامد	۲/ ۷۶	۳۷/۴
سدیم کلرید	جامد	/۸۵	۴۹/۷
کربن (گرافیت)	جامد	/۷۲	۸/۶۵
آهن	جامد	/۴۵۱	۲۵/۱۹
آب	مایع	۴/۱۸۴	۷۵/۳۸
اتانول	مایع	۲/۴۶	۱۱۳/۳۳
آب (بخار)	گاز	۲/ ۴۳	۳۶/۸
اکسیژن	گاز	/۹۱۷	۲۹/۳۴

نمونهٔ حل شده

۵۳ گرم آلومینیم به ۲۳۹ J انرژی نیاز دارد تا دمای آن به اندازهٔ ۵ C افزایش پیدا کند، ظرفیت گرمایی ویژهٔ این فلز را محاسبه کنید.

پاسخ:

می‌دانید که ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم از یک جسم به اندازهٔ ۱ C لازم است. از آنجا که دادن ۲۳۹J انرژی، دمای ۵۳g آلومینیم

را به اندازهٔ ۵ C افزایش می‌دهد، مقدار گرمایی معادل $(\frac{239J}{53g}) = 4/51\ J.g^{-1}$ لازم است تا دمای ۱g آلومینیم را ۵ C افزایش دهد. به‌این ترتیب گرمای لازم برای افزایش دمای ۱g آلومینیم به اندازهٔ ۱ C برابر خواهد بود با:

$$(\frac{4/51 J.g^{-1}}{5^{\circ}C}) = 0/902\ J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$$

ارزش غذایی مواد غذایی، برحسب کالری سنجیده می‌شود. ولی کارشناسان علوم تغذیه از نوعی کالری استفاده می‌کنند که آن را کالری رژیم غذایی (Cal) می‌نامند که حرف C در آن بزرگ است. این یکا معادل ۱ کالری یا یک کیلوکالری است.

۱Cal=۱ cal=۱kcal

بنابراین وقتی که می‌گوییم ۱ گرم موز ۷ کالری ارزش غذایی دارد به این معنی است که وقتی ۱ گرم موز مصرف می‌شود ۷ Cal یا ۷ kcal انرژی برای بدن فراهم می‌کند.

ارزش غذایی ۱ g از برخی مواد غذایی (Cal)	
برنج	۳۶۰
تخم‌مرغ	۱۴۰
نان	۲۵۰
سیب	۵۰
سیب‌زمینی	۷۰

به عبارت دیگر:

$$\text{ظرفیت گرمایی ویژهٔ آلومینیم} = \frac{۲۳۹J}{۵۳g \times ۵^{\circ}C} = ۰/۹۰۲\ J.g^{-۱}.^{\circ}C^{-۱}$$

خود را بیازمایید

۱ـ با توجه به داده‌های جدول ۱، رابطه میان جرم مولی، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی مواد را بیابید.

۲ـ اگر افزایش دمای ۷۵g سرب به مقدار ۱۰ C به ۹۶J گرما نیاز داشته باشد، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی سرب را محاسبه کنید.

۳ـ برای کاهش دمای ۲۵۰g اتانول از دمای ۲۵ C به دمای ۳ C چه مقدار گرما باید از آن گرفته شود؟

اطلاعات جمع‌آوری کنید

ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب در سه حالت جامد، مایع و گاز با هم تفاوت دارد. آیا می‌توان نتیجه گرفت که حالت فیزیکی هم بر مقدار ظرفیت گرمایی ویژهٔ یک ماده مؤثر است؟ این وابستگی را چگونه می‌توان توجیه کرد؟ با مراجعه به منابع علمی معتبر ضمن ارائهٔ چند نمونهٔ دیگر، پاسخ این پرسش‌ها را بیابید و نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

بیشتر بدانید

هزاران سال است که در کشورهای شرق آسیا مراسم شگفت‌انگیز راه رفتن روی زغال گداخته برگزار می‌شود. افرادی روی زغال داغ راه می‌روند، بدون آن که دچار سوختگی شوند. چگونه این کار امکان‌پذیر است؟ آیا این افراد قدرت فراطبیعی دارند؟یا این که علم تجربی توجیهی برای آن ندارد؟

پاسخ این پرسش‌ها را می‌توان با بررسی ظرفیت گرمایی پوست کف پا و زغال گداخته یافت. چون بافت بدن انسان به‌طور عمده از آب تشکیل شده است، از این‌رو پوست کف پا ظرفیت گرمایی ویژهٔ نسبتاً بالایی دارد. بنابراین، برای آن که دمای پاها به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر کند، باید مقدار زیادی انرژی از زغال به این اندام‌ها منتقل شود. چون مدت زمان تماس پاها با زغال گداخته نسبتاً کوتاه است، فرصت چندانی برای انتقال انرژی به پاها وجود ندارد، به‌طوری که دمای کف پاها آن‌چنان افزایش نمی‌یابند که آسیبی ببینند.

از سوی دیگر، اگر چه دمای سطح زغال زیاد است، اما لایهٔ گداختهٔ سطح آن بسیار نازک است. از این‌رو، مقدار انرژی موجود برای گرم کردن پاها کمتر از آن است که انتظار می‌رود؛ زیرا اگرچه دمای

این لایهٔ گداختهٔ بسیار نازک زیاد است، اما جرم آن به اندازه‌ای ناچیز است که گرمای قابل ملاحظه‌ای برای مبادله در اختیار ندارد.

عامل سومی که به این افراد کمک می‌کند تا بتوانند روی زغال گداخته راه بروند، پدیده‌ای است که نخستین بار یک فیزیک‌دان آلمانی به نام یوهان لیدن فراست به آن پی‌برد. اثر لیدن فراست به پدیده‌ای گفته می‌شود که به‌قطره‌های آب اجازه می‌دهد روی یک جسم داغ (مانند یک ماهی‌تابهٔ داغ) برای مدت نسبتاً طولانی بلغزند، بدون آن‌که تبخیر شوند. علت این پدیده آن است که ناحیه‌ای از قطره که در تماس با سطح داغ قرار دارد، تبخیر می‌شود و لایه‌ای از گاز (بخار) به‌وجود می‌آید. این لایه مانع از انتقال گرما به بقیهٔ قطره می‌شود و به قطره امکان می‌دهد تا برای مدت بیشتری روی سطح داغ باقی بماند. قطره‌های عرق پای این افراد نیز همین اثر را دارد. افزون بر این، چون این مراسم معمولاً در شب اجرا می‌شود، چمن مرطوبی که در اطراف بستر زغال وجود دارد، پای شخص را نمناک کرده، رطوبت لازم برای پدیدهٔ لیدن فراست را فراهم می‌کند. بنابراین، اگرچه راه رفتن روی آتش، کار شگفت‌آوری به نظر می‌رسد، اما دلایل علمی محکمی وجود دارد که امکان انجام این کار را توجیه می‌کند. البته، تمرین کافی و بستر مناسب زغال نیز ضروری است. ضمن آن که نباید از تحلیل‌های روان‌شناسانهٔ چنین اقدامی نیز چشم پوشی کرد.



مراسم راه رفتن روی زغال گداخته. هندوهای جزایر فیجی در حال برگزاری این مراسم دیده می‌شوند.

ترمودینامیک چیست؟

تا اینجا آموختید که ماده انرژی دارد و این انرژی میان همهٔ ذره‌های سازنده‌اش، آن هم به‌طور غیریکنواخت توزیع شده است. همچنین آموختید که هر ماده می‌تواند به مقادیر معین و قابل اندازه گیری انرژی جذب کند یا ازدست بدهد و در یک کلام انرژی مبادله کند. این ویژگی‌های ماده و بسیاری دیگر از این‌دست در شاخه‌ای از علم تجربی مطالعه می‌شود که **ترمودینامیک** نامیده شده است. گسترهٔ ترمودینامیک آن‌قدر وسیع است که افزون بر مطالعهٔ تبدیل شکل‌های مختلف انرژی و راه‌های انتقال آن به پرسش‌های کلی‌تری از جمله دلیل انجام‌شدن یا نشدن فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در شرایط معین پاسخ می‌دهد.

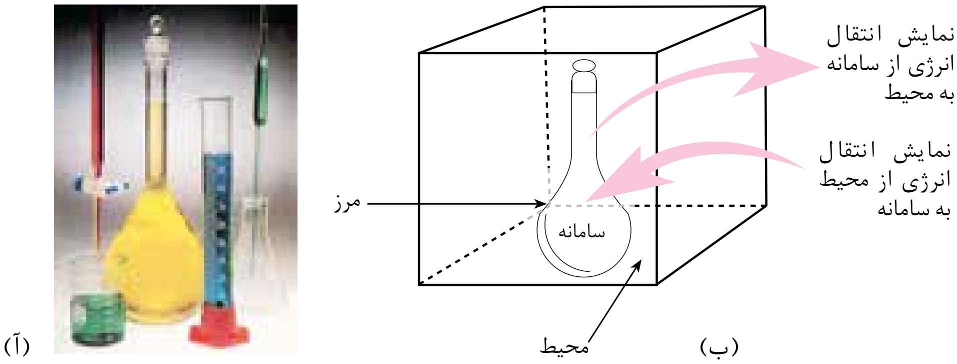
ترمودینامیک نیز مانند هر شاخهٔ علمی دیگری الفبای ویژهٔ خود را دارد. پس لازم است پیش از ورود به این مبحث با برخی مفاهیم اولیهٔ ترمودینامیک آشنا شوید.

سامانه و محیط پیرامون آن

در ترمودینامیک بخشی از جهان را انتخاب و تغییر انرژی آن را مطالعه می‌کنند. به بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می‌شود، **سامانه** یا **سیستم** می‌گویند. هنگامی که سامانه مشخص شد، هر چیز دیگری که در پیرامون آن باشد، **محیط** نامیده می‌شود. در شکل ۲ یک سامانه و محیط پیرامون آن را می‌بینید. در این شکل اگر سامانه، محتویات بالون حجمی (محلول زرد) باشد، وسایل دیگر و همچنین بقیهٔ قسمت‌های آزمایشگاه محیط پیرامون سامانه

را تشکیل می‌دهند. در حقیقت، بقیهٔ جهان هستی محیط پیرامون سامانه است ولی در عمل کافی است که فقط بخشی از جهان که با سامانه بر هم کنش دارد، محیط درنظر گرفته شود.

دیواره‌ای که سامانه را از محیط پیرامون آن جدا می‌کند **مرز سامانه** نامیده می‌شود. این مرز ممکن است حقیقی یا مجازی باشد.



شکل ۲ سامانه و محیط پیرامون آن آ) وقتی که محتویات بالون (محلول زرد) را به عنوان سامانه در نظر بگیریم، دیوارهٔ بالون مرز سامانه و آزمایشگاه، محیط پیرامون آن به شمار می‌آید. ب) نمایش دقیق‌تر اجزای سامانهٔ یاد شده.

انواع سامانه‌ها

سامانه‌ها را براساس نوع مبادله‌ای که با محیط پیرامون خود دارند به سه دسته طبقه‌بندی می‌کنند. در این مبادله، سامانه و محیط می‌توانند انرژی، ماده یا هر دو را بین هم تبادل کنند. سامانه‌ای که هم انرژی و هم ماده با محیط مبادله می‌کند، **سامانهٔ باز** نامیده می‌شود. به سامانه‌ای که در آن امکان مبادلهٔ ماده وجود ندارد و تنها به مبادلهٔ انرژی اکتفا می‌شود، **سامانهٔ بسته** می‌گویند. سامانه‌ای که مبادلهٔ ماده و انرژی ندارد **سامانهٔ منزوی (ایزوله)** نامیده شده است.

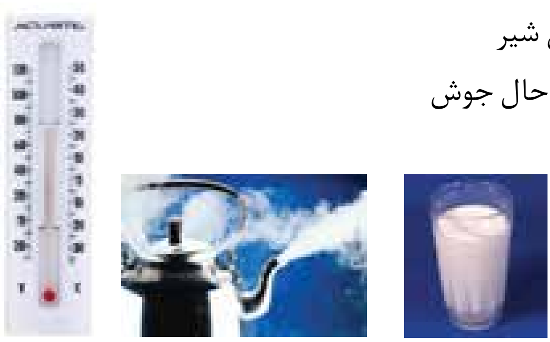
فکر کنید

۱ـ با توجه به تعریف انواع سامانه‌ها، در هر مورد نوع سامانه را تعیین کنید.

آ) دماسنج

ب) یک لیوان شیر

پ) کتری در حال جوش

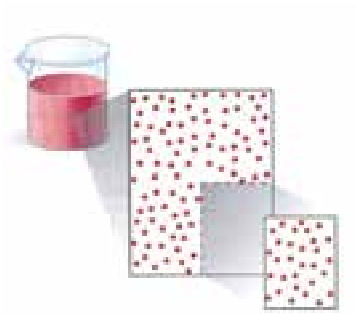


۲ـ آب جوش یا چایی که در یک فلاسک نگهداری می‌شود، یک سامانهٔ منزوی به‌شمار می‌رود. آیا می‌توان ادعا کرد که این سامانه واقعاً منزوی است؟ توضیح دهید.

خواص سامانه

برای توصیف یک سامانه باید برخی از خواص مانند حجم، فشار، دمای سامانه و ... را اندازه‌گیری کرد. این خواص که حالت ترمودینامیکی سامانه را توصیف می‌کنند، **خواص ترمودینامیکی** نام دارند. این خواص به دو دستهٔ **خواص مقداری** و **خواص شدتی** دسته‌بندی می‌شوند.

فکر کنید



نمایش برخی از خواص شدتی و مقداری سامانه

۲۰۰mL از یک محلول سرخ‌رنگ با غلظت $۲mol.L^{-۱}$ در یک بشر موجود است (سامانهٔ اولیه). تصور کنید این محلول را به دو بخش با حجم‌های ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌لیتر تقسیم کنیم. جرم، حجم، دما، غلظت، رنگ، چگالی و ظرفیت گرمایی محلول یاد شده در این دو بخش در مقایسه با سامانه اولیه چه تفاوتی کرده است؟ کدام خاصیت برای این دو بخش با همین خاصیت در سامانهٔ اولیه برابر نیست؟

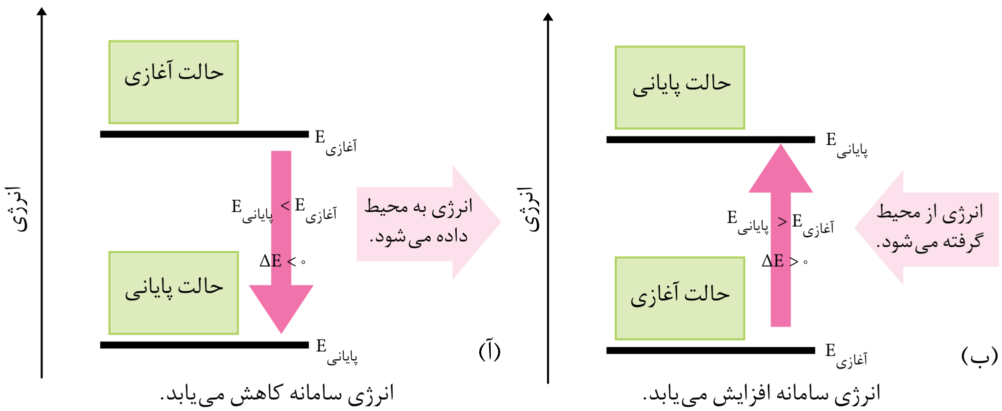
اگر خواصی را که مقدار آنها به مقدار ماده وابسته است، خواص مقداری و خواصی را که مقدار آنها به مقدار ماده بستگی ندارد، خواص شدتی بنامیم، از میان خاصیت‌های بیان شده، کدام خاصیت سامانهٔ اولیه شدتی و کدام مقداری خواهد بود؟

انتقال انرژی بین سامانه و محیط

اگر یک سامانه را شامل شمار بسیار زیادی ذره در نظر بگیریم، در این صورت چون هر ذرهٔ موجود در این سامانه دارای انرژی جنبشی و پتانسیل است، مجموع این انرژی‌ها برای همهٔ ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ سامانه، **انرژی درونی** آن سامانه نامیده می‌شود. هنگامی که در یک سامانهٔ شیمیایی (مثلاً بالون موجود در شکل ۲) واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند، انرژی درونی آن سامانه تغییر می‌کند. اگر این تغییر انرژی را با ΔE نشان دهیم، برای محاسبهٔ آن باید اختلاف بین انرژی درونی سامانه را پیش و پس از وقوع تغییر اندازه‌گیری نماییم:

$$\Delta E = E_{\text{پایانی}} - E_{\text{آغازی}} = E_{\text{فراورده‌ها}} - E_{\text{واکنش‌دهنده‌ها}}$$

$E_{\text{پایانی}}$ نشان‌دهندهٔ انرژی پس از تغییر و $E_{\text{آغازی}}$ نشان‌دهندهٔ انرژی پیش از تغییر است.



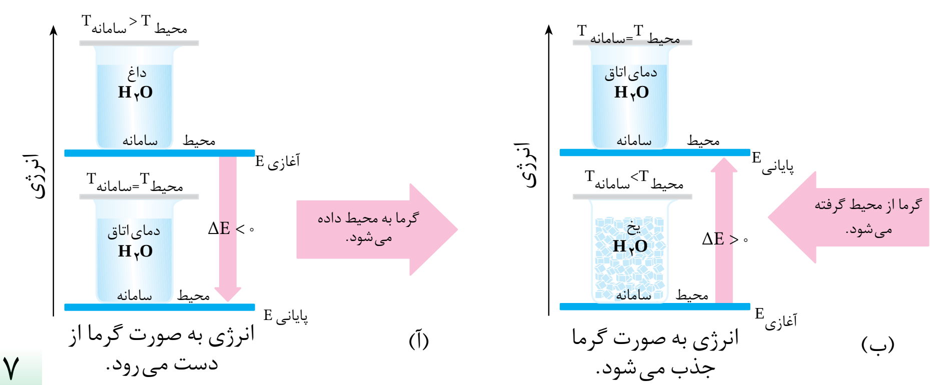
شکل ۳ نمودار تغییر انرژی در یک سامانه. این نمودارها انتقال انرژی را بین یک سامانه و محیط پیرامون آن نشان می‌دهد.

معمولاً، تغییر انرژی سامانه را با نموداری نمایش می‌دهند که در آن $E_{پایانی}$ (انرژی فراورده‌ها) و $E_{آغازی}$ (انرژی واکنش‌دهنده‌ها) خطوط افقی هستند و انرژی روی محور عمودی قرار دارد. نمونه‌ای از این نمودارها در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. آ سامانه‌ای را نشان می‌دهد که در آن با انتقال انرژی از سامانه به محیط، انرژی درونی سامانه کاهش می‌یابد. در این شرایط ΔE سامانه منفی است. شکل ۳. ب سامانه‌ای را نشان می‌دهد که انرژی درونی آن در حال افزایش است، یعنی از محیط پیرامون به سامانه انرژی وارد می‌شود و علامت تغییر انرژی درونی سامانه مثبت است. در سامانهٔ ۳. آ سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر است. در حالی که در سامانهٔ ۳. ب سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها بالاتر است.

فرض کنید که یک سامانه شامل نمونه‌ای آب داغ درون یک ظرف سربسته باشد، در این صورت گرما از آب به محیط پیرامون منتقل می‌شود و انرژی سامانه کاهش می‌یابد، شکل ۴. آ) در این حالت، تغییر انرژی درونی سامانه فقط ناشی از مبادلهٔ گرماست و این مبادلهٔ انرژی تا زمانی ادامه می‌یابد که دمای آب با دمای محیط پیرامون آن برابر شود. چون در این مورد، انرژی سامانه کاهش پیدا می‌کند، یعنی سامانه بخشی از انرژی خود را از دست داده است، پس علامت تغییر انرژی درونی آن منفی است. شکل ۴. ب نمودار انرژی را برای سامانهٔ دیگری نشان می‌دهد. علامت تغییر انرژی درونی را در این سامانه توجیه کنید.

شکل ۴ سامانهٔ بسته‌ای که فقط با محیط مبادلهٔ گرما دارد. آ) آب گرم (سامانهٔ بسته) انرژی را به صورت گرما به محیط پیرامون منتقل می‌کند تا زمانی که دمای آن با دمای محیط پیرامون یکسان شود. ب) یخ از محیط پیرامون انرژی جذب می‌کند تا زمانی که دمای سامانه با دمای محیط پیرامون یکسان شود.

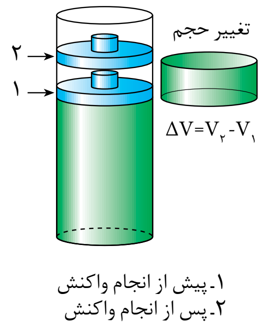


به‌طور خلاصه، اگر گرما از سامانه به محیط پیرامون منتقل شود، علامت گرما منفی و اگر گرما از محیط پیرامون به سامانه منتقل شود، علامت گرما مثبت است.اگر انرژی درونی سامانه کاهش پیدا کند، علامت آن منفی و اگر انرژی درونی سامانه افزایش یابد، علامت آن مثبت است.

انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

سامانه‌ای مانند یک لیوان محتوی ۵۰mL آب خالص را با دمای ۲۵ C در نظر بگیرید. برای افزایش دمای آن تا ۳۵ C، می‌توان از روش‌های گوناگونی استفاده کرد. برای نمونه، در یک روش با استفاده از شعلهٔ اجاق گاز دمای آن را به‌طور مستقیم از ۲۵ C به ۳۵ C می‌رسانیم. در روش دیگر، نخست با به هم‌زدن، دمای آن‌را، از ۲۵ C به ۲۷ C می‌رسانیم و سپس با یک گرمکن الکتریکی از ۲۷ C به ۳۵ C افزایش می‌دهیم. بنابراین در هر مسیر انرژی آغازی و پایانی سامانه تفاوتی نمی‌کند و میزان تغییر انرژی سامانه در هر دو مسیر یکسان است.

این مثال نشان می‌دهد که، تغییر انرژی درونی یک سامانه، به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی سامانه وابسته است. از این رو، انرژی درونی را **تابع حالت** می‌گویند. به این معنا که اگر برای انجام فرایندی مسیرهای متفاوتی وجود داشته باشد، تغییر انرژی درونی سامانه در تمام مسیرها یکسان است.



شکل ۵ فشار درون سیلندر به دلیل افزایش حجم فراورده‌های گازی واکنش پروپان و اکسیژن بیش از فشار محیط است. بنابراین گازهای درون سیلندر روی محیط کار انجام می‌دهند. به‌خاطر داشته باشید که این واکنش در فشار ثابت انجام می‌شود.

واکنش سوختن کامل پروپان را درنظر بگیرید. فرض کنید که این واکنش در سیلندری با یک پیستون روان انجام می‌شود، شکل ۵. انرژی درونی آغازی را نیز هم‌ارز با انرژی درونی واکنش‌دهنده‌ها فرض کنید. با توجه به معادلهٔ موازنه‌شدهٔ زیر طی این واکنش از ۶ مول واکنش‌دهنده، ۷ مول فراورده به‌دست می‌آید. ضمن آن که مقدار قابل‌توجهی گرما نیز آزاد می‌شود.

$$\underbrace{C_۳H_۸(g)+۵O_۲(g)}_{\text{۶ مول گاز}} \rightarrow \underbrace{۳CO_۲(g)+۴H_۲O(g)}_{\text{۷ مول گاز}} + \text{گرما}$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حجم فراورده‌ها بیش از حجم واکنش‌دهنده‌هاست. ($\Delta V>۰$) این افزایش حجم سبب می‌شود که پیستون به سمت بالا حرکت کند. درواقع پیستون که پیش از این نیز فشار هوا را در برابر خود داشت، اکنون با انرژی بیشتری مولکول‌های هوا را به عقب می‌راند و درواقع روی آنها **کار** انجام می‌دهد. به دیگر سخن، مقداری از انرژی واکنش به‌صورت انرژی مکانیکی نمایان شده است.

همان‌طوری که دیدید، در این مثال تغییر انرژی درونی هم‌ارز با گرمای مبادله شده با محیط نیست؛ زیرا مقداری از این گرما به کار تبدیل شده است. اگر تغییر انرژی درونی را با ΔE، گرمای مبادله شده را با q و کار انجام شده ناشی از تغییر حجم را با w نشان دهیم،

در این صورت خواهیم داشت:

$$\Delta E = q + w$$

این رابطه قانون اول ترمودینامیک را معرفی می‌کند. این قانون در واقع همان قانون پایستگی انرژی است. طبق این قانون، انرژی نه به‌وجود می‌آید و نه از بین می‌رود، بلکه از شکلی به شکل دیگری درمی‌آید.

گاهی ممکن است که طی یک واکنش شیمیایی تغییر حجمی ایجاد نشود، یعنی $\Delta V = ۰$ باشد، در این صورت $w = ۰$ است.

واکنش سوختن کامل متان را در سیلندری با پیستون روان درنظر بگیرید:

$$\underbrace{CH_۴(g) + ۲O_۲(g)}_{\text{۳ مول گاز}} \rightarrow \underbrace{CO_۲(g) + ۲H_۲O(g)}_{\text{۳ مول گاز}}$$

۳ مول از واکنش‌دهنده‌ها ۳ مول فراورده تولید می‌کند، پس $\Delta V = ۰$ است. در اینجا کار ناشی از تغییر حجم صفر خواهد بود.

در این حالت $\Delta E = q$ است. به عبارت دیگر هنگامی که یک واکنش شیمیایی با تغییر حجم همراه نیست یا در ظرفی با حجم ثابت انجام می‌گیرد، مقدار تغییر انرژی درونی تنها ناشی از انتقال گرما خواهد بود.

فکر کنید

واکنش زیر را درنظر بگیرید.

$$CO(g) + ۲H_۲(g) \longrightarrow CH_۳OH(g) + \text{گرما}$$

فرض کنید که این واکنش در سیلندری با یک پیستون روان (واکنش در فشار ثابت) انجام می‌گیرد. در این صورت علامت تغییر انرژی درونی (ΔE) را برای این واکنش پیش‌بینی کنید.

واکنش‌های شیمیایی به دو روش انجام می‌شود:

واکنش در حجم ثابت و واکنش در فشار ثابت

آ) واکنش در حجم ثابت $(\Delta V = ۰)$؛ در چنین حالتی در اثر تغییر حجم کاری انجام نمی‌شود $(w = ۰)$ و تغییر انرژی درونی سیستم فقط ناشی از مبادلهٔ گرما است.

بنابراین می‌توان نوشت:

تغییر انرژی درونی $q_V = \Delta E$ گرمای مبادله شده برای واکنش در حجم ثابت

ب) واکنش در فشار ثابت $(\Delta V \neq ۰)$؛ این واکنش در ظرفی سرباز یا هر ظرف دیگری انجام می‌شود که با تغییر حجم، فشار را ثابت نگه می‌دارد. در این حالت کار انجام می‌شود

مقدار w می‌تواند منفی یا مثبت باشد. علامت آن هنگامی منفی است که سامانه روی محیط کار انجام دهد. ولی در شرایط معکوس که محیط روی سامانه کار انجام می‌دهد، علامت w مثبت است.

($w \neq 0$). پس در این حالت، تغییر انرژی درونی با انجام کار و مبادلهٔ گرما همراه است. اگر گرمای منتقل شده در فشار ثابت را با q_p نشان دهیم، در آن صورت:

$$\Delta E = q + w \xrightarrow[\text{در فشار ثابت}]{\text{انجام واکنش}} q_p = \Delta E - w$$

چون بیشتر واکنش‌های شیمیایی در فشار ثابت انجام می‌شود، برای چنین واکنش‌هایی گرمای مبادله شده در فشار ثابت (q_p) را با نماد ΔH نشان می‌دهند و آن را **گرمای واکنش** یا **آنتالپی واکنش** می‌نامند.

$$q_p = \Delta H$$

برای واکنش‌هایی که تنها از مواد جامد و مایع تشکیل شده‌اند ΔV بسیار ناچیز است. از این رو برای این واکنش‌ها مقدار ΔE را تقریباً با ΔH برابر درنظر می‌گیرند.
برای یک واکنش معمولاً به جای تغییر آنتالپی واژهٔ آنتالپی را به کار می‌برند.

بیشتر بدانید

پدیده‌های زیادی در زندگی روزانه وجود دارد که آنها را می‌توان به کمک قانون اول ترمودینامیک توجیه کرد. تولید برف ساختگی برای پیست‌های اسکی از جملهٔ این پدیده‌هاست. چگونه می‌توان برای رفع نیاز اسکی‌بازان در روزهای آفتابی به این اندازه برف تهیه کرد؟ راز تهیهٔ برف ساختگی در معادلهٔ $\Delta E = q + w$ نهفته است. دستگاه سازندهٔ برف دارای هوای فشرده و بخار آب با فشار ۲۰ اتمسفر است. چون تفاوت فشار بین مخزن دستگاه و هوای بیرون زیاد است، وقتی مخلوط در هوا پاشیده می‌شود، به سرعت انبساط می‌یابد، به‌طوری که تقریباً هیچ تبادل گرمایی بین سامانه (هوا و آب) و محیط اطراف صورت نمی‌گیرد، یعنی، $q = 0$ است. (در ترمودینامیک، چنین فرایندی را فرایند بی‌دررو می‌نامند.) از این‌رو، می‌توان نوشت:

$$\Delta E = q + w = w$$

چون این سامانه روی محیط کار انجام می دهد، مقدار w منفی است و انرژی آن کاهش می‌یابد. انرژی جنبشی بخشی از کل انرژی این سامانه است. چون انرژی جنبشی متوسط یک گاز با دمای آن نسبت مستقیم دارد، بنابراین تغییر انرژی متناسب با تغییر دما خواهد بود. بنابراین :

$$\Delta E \propto \Delta T \Rightarrow \Delta E = C\Delta T$$

در این رابطه C ثابت تناسب است. چون ΔE منفی است، ΔT نیز باید منفی باشد. این اثر که اثر سرد کردن نامیده شده است، موجب کاهش انرژی جنبشی مولکول‌های آب و تشکیل برف می‌شود. اگر چه برای تهیهٔ برف تنها به‌آب نیاز است، اما حضور هوا که آن نیز در اثر انبساط سرد می‌شود، به کاهش دمای بخار آب کمک شایانی می‌کند.



یک دستگاه سازندهٔ برف

آنتالپی یک تابع حالت است.

همان‌طوری که گفته شد برای بررسی تغییر انرژی در واکنش‌های شیمیایی که اغلب در فشار ثابت روی می‌دهند، از کمیت ترمودینامیکی دیگری به نام آنتالپی (H) استفاده می‌شود. در واقع آنتالپی را می‌توان تغییر انرژی یک سامانه در فشار ثابت تعریف

کرد. در این شرایط مبادلهٔ انرژی با انجام کار توسط سامانه روی محیط پیرامون یا برعکس همراه است. بنابراین اغلب میزان تغییر آنتالپی با تغییر انرژی درونی تفاوت داشته، کمتر یا بیشتر از آن است.

آنتالپی هم مانند انرژی درونی، یک تابع حالت است و مقدار تغییر آن فقط به‌حالت‌های آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد. برای یک فرایند، تغییر آنتالپی (ΔH) به صورت زیر است:

قدرمطلق ΔH یک فرایند، بزرگی آن را نشان می‌دهد در حالی که علامت آن نشان‌دهندهٔ گرماده و گرماگیر بودن فرایند است.

$\Delta H=$ آنتالپی سامانه در آغاز فرایند− آنتالپی سامانه در پایان فرایند

$$\Delta H = H_{\text{پایانی}} - H_{\text{آغازی}}$$

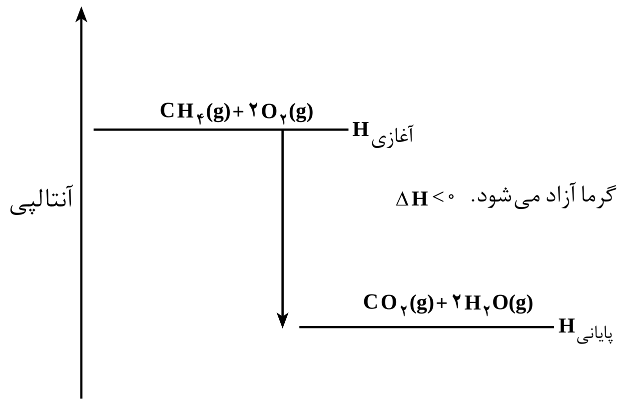
اگر سامانهٔ موردنظر یک واکنش شیمیایی باشد، در آن صورت $H_{\text{پایانی}}$ آنتالپی فراورده‌ها و $H_{\text{آغازی}}$ آنتالپی واکنش دهنده‌هاست و ΔH، آنتالپی واکنش نامیده می‌شود؛ یعنی:

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = H_{\text{فراورده‌ها}} - H_{\text{واکنش‌دهنده‌ها}}$$

به عنوان نمونه واکنش زیر را در نظر بگیرید:

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

این واکنش، یک واکنش سوختن است و گرما آزاد می‌کند. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش‌ها **گرماده** می‌گویند. ΔH برای چنین واکنش‌هایی منفی است. به عبارت دیگر، آنتالپی فراورده‌ها ($H_{\text{پایانی}}$) از آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها ($H_{\text{آغازی}}$) کمتر است، شکل ۶.



شکل ۶ نمودار تغییر آنتالپی در واکنش سوختن کامل متان

از سوختن یک مول متان، ۸۰۸ کیلو ژول گرما آزاد می‌شود. چون گرما آزاد شده است، پس علامت ΔH برای این واکنش منفی است؛ $\Delta H_{\text{واکنش}} = -808 kJ.mol^{-1}$.

در یک واکنش گرماده، گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.

در واکنش‌های گرماده: $H_{\text{پایانی}} < H_{\text{آغازی}} \Rightarrow \Delta H < 0$

آزمایش کنید

هدف: مشاهدهٔ گرمای آزاد شده در اثر حل شدن کلسیم کلرید بی‌آب در آب

وسایل موردنیاز: دماسنج، یک بشر ۱۰۰mL، میلهٔ هم‌زن، قاشقک، ترازو، شیشهٔ ساعت، گیره و پایه، مقداری نخ

مواد موردنیاز: کلسیم کلرید بی‌آب، آب مقطر

روش کار

۱ـ ۵۰mL آب مقطر در یک بشر ۱۰۰mL بریزید.

۲ـ شیشهٔ ساعت را روی ترازو قرار دهید و جرم آن را اندازه بگیرید. سپس با کمک قاشقک ۱۰g کلسیم کلرید بی‌آب توزین کنید.

۳ـ با کمک مقداری نخ دماسنج را به گیرهٔ متصل شده به پایه آویزان کنید و سپس بشر دارای آب را زیر آن قرار دهید. دماسنج طوری در آب قرار گیرد که مخزن آن به طور کامل درون آب مقطر باشد. در ضمن دماسنج نباید هیچ تماسی با بدنهٔ بشر داشته باشد.

۴ـ همهٔ کلسیم کلرید را به کمک قاشقک و به آرامی در آب درون بشر بریزید و سپس با کمک هم‌زن شیشه‌ای آن را به هم بزنید.

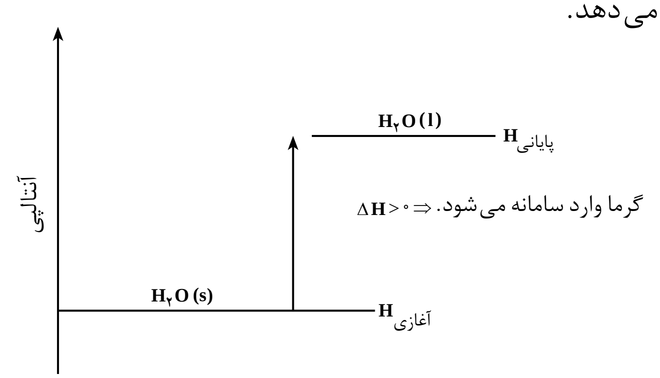
۵ـ مشاهده‌های خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش خود را در کلاس ارائه دهید.

پرسش

به نظر شما چه عواملی می‌توانند در اندازه‌گیری میزان تغییر دمای محلول حاصل خطا ایجاد کنند؟ چه پیشنهادهایی برای رفع آنها دارید؟

از حل کردن حدود ۲g کلسیم کلرید خشک در ۵mL آب ۳ °C، به اندازه‌ای گرما آزاد می‌شود که می‌تواند دمای محلول را تا حدود ۱ °C بالا ببرد.

ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب از جمله فرایندهای گرماگیر است؛ یعنی برای ذوب کردن یخ به گرما نیاز است. به عبارت دیگر، برای ذوب کردن یخ باید محیط به سامانه گرما بدهد. در چنین فرایندهایی، آنتالپی فراورده‌ها ($H_{\text{پایانی}}$) از آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها ($H_{\text{آغازی}}$) بزرگ‌تر است و بنابراین علامت ΔH، مثبت خواهد بود. شکل ۷ نمودار آنتالپی را برای ذوب شدن یخ نشان می‌دهد.



شکل ۷ نمودار آنتالپی برای ذوب شدن یخ، مثالی از یک فرایند گرماگیر

برای ذوب کردن یک مول یخ ۶/۰ کیلوژول گرما لازم است. چون این فرایند گرماگیر است پس علامت ΔH باید مثبت باشد؛

$$\Delta H_{\text{ذوب}} = +6 kJ.mol^{-1}$$

در یک فرایند گرماگیر، گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌یابد.

در واکنش‌های گرماگیر : $H_{\text{پایانی}} > H_{\text{آغازی}} \Rightarrow \Delta H > 0$

آزمایش کنید

حل شدن آمونیوم نیترات در آب گرماگیر است. ۵mL آب $20\,C$ را در یک لولهٔ آزمایش بریزید و ۱/۵g آمونیوم نیترات خشک را در آن حل کنید. با اندازه‌گیری دمای آب مشاهده‌های خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش را در کلاس ارائه دهید.

فکر کنید

نیتروگلیسرین از جمله مواد منفجرهٔ بسیار حساسی است که در اثر اندکی گرما یا وارد شدن ضربه طی واکنشی گرماده تجزیه می‌شود. در این واکنش به ازای هر مول نیتروگلیسرین $5/72\times10^{3} kJ.mol^{-1}$ گرما آزاد می‌شود. تغییر آنتالپی این واکنش چقدر است؟ آیا در اثر انجام شدن این واکنش در فشار ثابت کاری انجام می‌شود؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

$$4C_3H_5(NO_3)_3(l) \rightarrow 12CO_2(g) + 10H_2O(g) + O_2(g) + 6N_2(g)$$

آلفرد نوبل، دانشمند سوئدی (۱۸۹۶ـ۱۸۳۳) از ترکیب کردن خاک دیاتومه و نیتروگلیسرین، مادهٔ منفجره‌ای به نام دینامیت ساخت. جالب است بدانید نیتروگلیسرین افزون بر خاصیت انفجاری کاربرد دارویی نیز دارد. به‌طوری که پزشکان برای بیماران قلبی، قرص زیرزبانی نیتروگلیسرین تجویز می‌کنند. این ماده سبب گشادشدن رگ‌ها می‌شود.

حالت استاندارد

مقدار تغییر آنتالپی (ΔH) برای یک واکنش، مقدار گرمایی است که در تبدیل واکنش‌دهنده(ها) به فراورده(ها) در فشار ثابت مبادله می‌شود.

به‌عنوان نمونه، در واکنش سوختن کامل پروپان، یک مول گاز پروپان با ۵ مول گاز اکسیژن ترکیب می‌شود و ۳ مول گاز CO_2 و ۴ مول بخار آب تولید می‌شود. در این واکنش ۲۰۵۶kJ گرما هم آزاد می‌شود. باید توجه داشته باشید که مقدار گرمای آزاد شده در یک واکنش به مقدار واکنش‌دهنده‌ها هم بستگی دارد؛ بنابراین واکنش ۰/۵ مول گاز پروپان با ۲/۵ مول گاز O_2 مقدار $0/5 mol \times 2056 kJ.mol^{-1} = 1028 kJ$ گرما آزاد می‌کند.

$$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

توجه کنید که واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها باید در دمای یکسانی باشند و حالت فیزیکی آنها به‌صورت جامد (s)، مایع (l)، گاز (g) و محلول آبی (aq) مشخص باشد.

آنتالپی یک واکنش، کمیتی مقداری است.

در صورتی که در واکنش سوختن کامل پروپان، بخار آب تولید شود، آنتالپی واکنش $-2056kJ$ است. ولی اگر آب به حالت مایع تولید شود، تغییر آنتالپی واکنش برابر با $-2220kJ$ خواهد بود. (چرا؟)

$$C_3H_8(g)+5O_2(g)\rightarrow 3CO_2(g)+4H_2O(g) \quad \Delta H=-2056kJ$$

$$C_3H_8(g)+5O_2(g)\rightarrow 3CO_2(g)+4H_2O(l) \quad \Delta H=-2220kJ$$

این نکته نشان می‌دهد که در هنگام محاسبهٔ آنتالپی افزون بر مشخص‌بودن دما و فشار باید حالت فیزیکی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها هم مشخص باشد.

برای این که اندازه‌گیری گرمای همهٔ واکنش‌ها در شرایط یکسانی انجام گیرند، شرایط ویژه‌ای به نام «**حالت استاندارد ترمودینامیکی**» تعریف شده است. حالت استاندارد ترمودینامیکی، پایدارترین شکل مادهٔ خالص در فشار یک اتمسفر و دمایی مشخص (معمولاً دمای اتاق، $25\,^\circ C$) تعریف می‌شود. برای نمونه حالت استاندارد نیتروژن، اکسیژن و کربن در دمای اتاق به ترتیب $N_2(g)$، $O_2(g)$ و C (s، گرافیت) است. در واقع از میان دِگرشکل‌های مختلف یک عنصر پایدارترین آنها ملاک اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

برای یک ماده در حالت محلول، حالت استاندارد ترمودینامیکی غلظت ۱ مول بر لیتر ($1\,mol.L^{-1}$) درنظر گرفته می‌شود.

برای مشخص کردن شرایط استاندارد علامت « ° » را بالای نماد کمیتی قرار می‌دهند که در آن شرایط اندازه‌گیری می‌شود. برای مثال ΔH°، نشان دهندهٔ آنتالپی استاندارد است، یعنی تمام مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد خود و در دمای اتاق (یا هر دمای مشخص دیگری) در نظر گرفته شده‌اند.

برخی از تغییر آنتالپی‌های مهم

۱ـ آنتالپی استاندارد تشکیل ($\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$): به واکنشی که طی آن یک مول ماده از عنصرهای سازنده‌اش تشکیل می‌شود، واکنش تشکیل آن ماده می‌گویند. اگر در این واکنش، همهٔ مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد خود قرار داشته باشند، تغییر آنتالپی این واکنش را **آنتالپی استاندارد تشکیل** آن ماده ($\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$) می‌گویند.

از میان دو دِگرشکل مهم کربن یعنی الماس و گرافیت، گرافیت به عنوان حالت استاندارد انتخاب شده است، زیرا گرافیت پایدارتر از الماس است. بنابراین:

برای نمونه به معادلهٔ تشکیل متان توجه کنید:

$$C\,(s،\text{ گرافیت}) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g) \qquad H^\circ_{\text{تشکیل}}=-75kJ$$

بنابراین، آنتالپی استاندارد تشکیل متان $-75kJ.mol^{-1}$ است. آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در جدول ۲ آمده است.

$$\Delta H_{\text{تشکیل}}[\text{کربن}(s،\text{ گرافیت})]=0$$

$$\Delta H_{\text{تشکیل}}[\text{کربن}(s،\text{ الماس})]=1/9kJ.mol^{-1}$$

مطابق قرارداد، آنتالپی استاندارد تشکیل عنصرها صفر درنظر گرفته می‌شود. به بیان دقیق‌تر، آنتالپی استاندارد تشکیل ($\Delta H_{\text{تشکیل}}$) پایدارترین دِگرشکل یک عنصر در حالت استاندارد، صفر در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ جدول آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در $25^{\circ}C$

ماده	فرمول شیمیایی	$\Delta H_{\text{تشکیل}}$ $(kJ.mol^{-1})$	ماده	فرمول شیمیایی	$\Delta H_{\text{تشکیل}}$ $(kJ.mol^{-1})$
اتین	$C_2H_2(g)$	۲۲۷	آب	$H_2O(l)$	-۲۸۶
آمونیاک	$NH_3(g)$	-۴۶	نیتروژن‌دی‌اکسید	$NO_2(g)$	۳۴
کربن دی‌اکسید	$CO_2(g)$	-۳۹۴	اتن	$C_2H_4(g)$	۵۲
اتانول	$C_2H_5OH(l)$	-۲۷۸	سدیم کلرید	$NaCl(s)$	-۴۱۱
متان	$CH_4(g)$	-۷۵	هیدروژن کلرید	$HCl(g)$	-۹۲

فکر کنید

چرا آنتالپی استاندارد تشکیل بسیاری از مواد منفی است؟

۲ـ آنتالپی استاندارد سوختن ($\Delta H_{\text{سوختن}}$): هنگامی که یک مول از ماده‌ای در مقدار کافی گاز اکسیژن خالص بسوزد، گرمای واکنش یاد شده **آنتالپی استاندارد سوختن** آن ماده نامیده می‌شود. وقتی یک مول کربن یعنی ۱۲/۰ گرم کربن به‌طور کامل در اکسیژن بسوزد، گاز کربن دی‌اکسید به همراه ۳۹۴ kJ گرما تولید می‌شود.

$$C(s,\text{گرافیت}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 394kJ$$

پس می‌توان نوشت:

$$\Delta H_{\text{سوختن}}[C(s,\text{گرافیت})] = -394kJ.mol^{-1}$$

در جدول ۳ آنتالپی استاندارد سوختن چند ترکیب آلی آمده است.

جدول ۳ آنتالپی استاندارد سوختن چند ترکیب آلی بر حسب $kJ.mol^{-1}$

فرمول مولکولی	$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}$	فرمول مولکولی	$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}$
$CH_4(g)$	-۸۹	$C_2H_2(g)$	-۱۲۹۹
$C_2H_6(g)$	-۱۵۶	$CH_3OH(l)$	-۷۱۵
$C_2H_4(g)$	-۱۴ ۹	$C_2H_5OH(l)$	-۱۳۶۸

فکر کنید

با توجه به آنتالپی استاندارد سوختن اتان (C_2H_6)، اتن (C_2H_4) و اتین (C_2H_2)، جدول ۳، انتظار دارید که شعلهٔ حاصل از سوختن کدام یک داغ‌تر باشد؟ چرا؟ پاسخ خود را با نوشتن معادلهٔ موازنه شدهٔ سوختن هر یک از آنها توضیح دهید.

۳ـ آنتالپی استاندارد تبخیر (ΔH تبخیر): هنگامی که یک مول از ماده‌ای در دمای جوش خود تبخیر شود، تغییر آنتالپی مربوط به این فرایند، **آنتالپی استاندارد تبخیر** آن ماده گفته می‌شود. به عنوان نمونه در شرایط استاندارد برای تبخیر یک مول آب ۴۱/۱ کیلو ژول گرما نیاز است.

$$H_۲O(l) + ۴۱/۱kJ \rightarrow H_۲O(g)$$

بنابراین:

$$\Delta H_{\text{تبخیر}} [H_۲O(l)]=۴۱/۱kJ.mol^{-۱}$$

۴ـ آنتالپی استاندارد ذوب (ΔH ذوب): هنگامی که یک مول از ماده‌ای جامد در دمای ذوب خود به مایع تبدیل شود، تغییر آنتالپی این فرایند را **آنتالپی استاندارد ذوب** آن ماده می‌گویند. به عنوان نمونه برای ذوب کردن یک مول یخ صفر درجهٔ سلسیوس و تبدیل آن به آب صفر درجهٔ سلسیوس، ۶/۰kJ گرما لازم است.

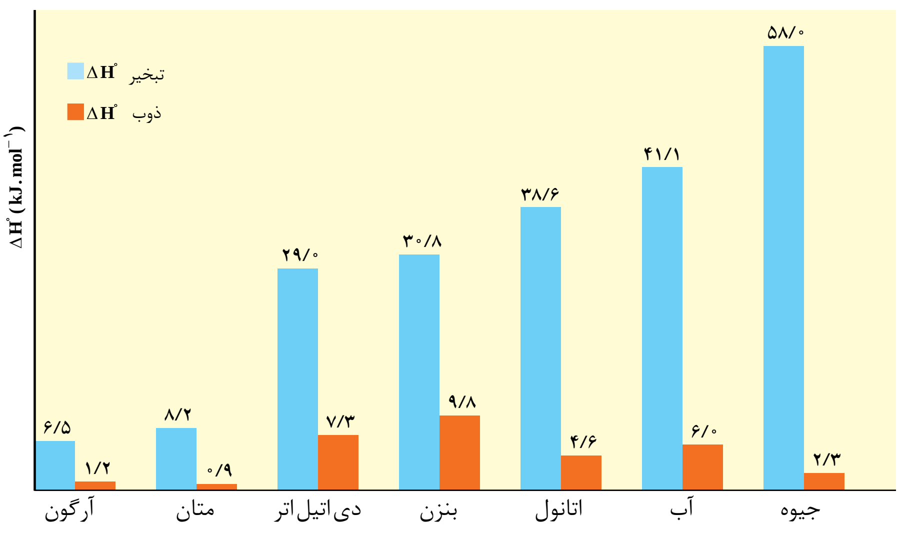
$$H_۲O(s)+۶/۰kJ \rightarrow H_۲O(l)$$

به عبارت دیگر:

$$\Delta H_{\text{ذوب}} [H_۲O(s)]=۶/۰kJ.mol^{-۱}$$

فکر کنید

نمودار زیر آنتالپی استاندارد تبخیر و آنتالپی استاندارد ذوب چند ماده را در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. به‌نظر شما چرا در این مواد آنتالپی استاندارد تبخیر از آنتالپی استاندارد ذوب بزرگ‌تر است؟ آیا این نتیجه گیری به همهٔ مواد قابل تعمیم است؟



۵ـ آنتالپی استاندارد تصعید(ΔH تصعید): هنگامی که یک مول از ماده‌ای تصعید شود، تغییر آنتالپی این فرایند را **آنتالپی استاندارد تصعید** آن ماده می‌نامند. یخ خشک (کربن دی‌اکسید جامد) در فشارهای معمولی به‌طور مستقیم تصعید می‌شود و به گاز $CO_۲$ تبدیل می‌شود.

$$CO_۲(s) \rightarrow CO_۲(g) \qquad \Delta H_{\text{تصعید}} = ۲۵ kJ.mol^{-۱}$$

۶ـ میانگین آنتالپی پیوند: همان‌طور که می‌دانید، اتم‌های هیدروژن در مولکول دو اتمی هیدروژن($H_۲$) با یک پیوند کووالانسی قوی به هم متصل شده‌اند. برای شکستن این پیوند کووالانسی باید انرژی مصرف شود. تجربه نشان می‌دهد که برای شکستن پیوندهای موجود در یک مول $H_۲(g)$ و تبدیل آن به دو مول اتم هیدروژن گازی، $۴۳۶ kJ$ انرژی لازم است.

$$H{-}H(g) + ۴۳۶kJ \rightarrow ۲H(g)$$

به $۴۳۶kJ.mol^{-۱}$ انرژی گسستن پیوند یا آنتالپی پیوند H–H گفته می‌شود. این کمیت را به‌صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\Delta H_{H-H} = ۴۳۶kJ.mol^{-۱}$$

مولکول متان ($CH_۴$) را درنظر بگیرید، آیا انرژی لازم برای شکستن همهٔ پیوندهای C–H در این ترکیب یکسان است؟ بی‌تردید خیر (چرا؟)؛ از این‌رو واژهٔ میانگین آنتالپی پیوند برای پیوندهایی همچون C–H مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد.

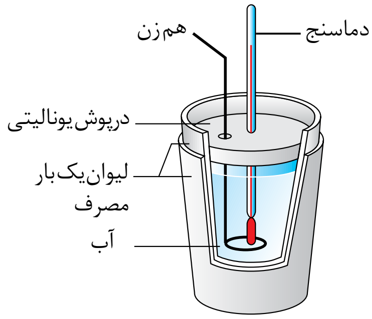
در جدول ۴ میانگین آنتالپی پیوند برای برخی از پیوندهای کووالانسی داده شده است.

جدول ۴ میانگین آنتالپی پیوند برخی از پیوندهای کووالانسی برحسب $kJ.mol^{-۱}$

پیوند	آنتالپی	پیوند	آنتالپی
H-H	۴۳۶	C - H	۴۱۲
N-N	۱۶۳	O–O	۱۴۶
O-H	۴۶۳	C - C	۳۴۸
پیوندهای چندگانه			
C=C	۶۱۲	C≡C	۸۳۷
N≡N	۹۴۴	O=O	۴۹۶

تعیین گرمای واکنش‌های شیمیایی

تاکنون با واکنش‌های شیمیایی بسیاری آشنا شده‌اید؛ واکنش‌هایی که گرماده یا گرماگیرند. شاید این پرسش در ذهن شما مطرح شده باشد که گرمای یک واکنش چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟ گرمای یک واکنش را می‌توان به‌روش مستقیم یا غیرمستقیم تعیین کرد.

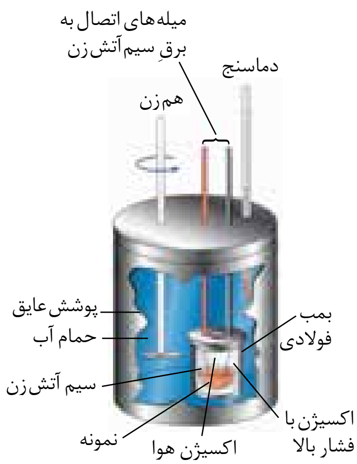


شکل ۸ یک گرماسنج لیوانی. از این گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود. برای ساختن این گرماسنج کافی است دو لیوان یک‌بار مصرف را داخل هم قرار داد و با قطعه‌ای یونالیت درپوشی برای آن ساخت.

گرماسنجی روش مستقیم اندازه‌گیری گرمای یک واکنش

در روش مستقیم باید مقداری از واکنش‌دهنده‌ها را در شرایط مناسب برهم اثر داد و گرمای واکنش را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. برای این‌منظور دستگاهی به نام **گرماسنج** به‌کار می‌رود. گرماسنج دستگاهی است که برای اندازه‌گیری گرمای مبادله‌شده در یک واکنش شیمیایی به‌کار می‌رود. شما می‌توانید با استفاده از یک ظرف مناسب که با محیط بیرون گرما مبادله نکند، یک گرماسنج ساده بسازید. مثلاً می‌توانید از یک لیوان پلاستیکی استفاده کنید. به این نوع گرماسنج، **گرماسنج لیوانی** هم می‌گویند. به شکل ۸ توجه کنید، این شکل گرماسنج ساده‌ای را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در **فشار ثابت** به‌کار برده می‌شود.

این گرماسنج شامل مقدار معینی آب یا محلول یک واکنش‌دهنده در یک ظرف عایق‌بندی شده است. در این گرماسنج یک دماسنج و یک هم‌زن نیز قرار دارد. پیش از انجام واکنش، دمای اولیهٔ آب یا محلول اندازه‌گیری می‌شود. بعد از اضافه کردن مادهٔ دوم و انجام واکنش موردنظر، دمای نهایی آب هم اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از اختلاف دمای پیش و پس از آزمایش، گرمای واکنش محاسبه می‌شود.



شکل ۹ گرماسنج بمبی که برای اندازه‌گیری دقیق گرمای سوختن یک ماده در حجم ثابت به‌کار می‌رود.

در شکل ۹ گرماسنج دیگری نشان داده شده است که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در **حجم ثابت** به‌کار برده می‌شود. از این نوع گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای سوختن یک ماده استفاده می‌کنند. **گرماسنج بمبی**، نامی است که به این نوع گرماسنج داده شده است. در گرماسنج بمبی، محفظهٔ انجام واکنش (بمب فولادی) درون یک حمام آب قرار دارد. آب درون این حمام به منظور هم‌گون شدن دما به‌طور پیوسته در حال به‌هم خوردن است. پس از برقراری جریان برق و هم‌زمان با سوختن نمونه، گرمای آزاد شده سبب گرم کردن بمب و در نتیجه گرم‌شدن آب و افزایش دمای حمام آب می‌شود. با اندازه‌گیری پیوستهٔ دمای آب درون حمام و با استفاده از ظرفیت گرمایی اجزای سازندهٔ گرماسنج ـ شامل حمام آب، میلهٔ هم‌زن، بدنه، دماسنج، محفظهٔ احتراق و میله‌های اتصال ـ که برای هر گرماسنج مقداری ثابت است و محاسبه‌ای ساده، می‌توان گرمای حاصل از واکنش سوختن را محاسبه کرد.

فکر کنید

با استفاده از یک گرماسنج بمبی کدام کمیت قابل اندازه‌گیری است؟ ΔE (تغییر انرژی درونی) یا ΔH (تغییر آنتالپی واکنش). برای یک گرماسنج لیوانی چه‌طور؟

روش‌های غیرمستقیم تعیین گرمای واکنش‌های شیمیایی

گرمای بسیاری از واکنش‌های شیمیایی را نمی‌توان به‌طور مستقیم تعیین کرد. چون بسیاری از واکنش‌ها در شرایط بسیار سختی انجام می‌شوند. گاهی یک واکنش ممکن است بخشی از یک فرایند زیست‌شناختی پیچیده باشد و نتوان آن را به‌صورت یک واکنش جداگانه در آزمایشگاه انجام داد. گرمای چنین واکنش‌هایی از روش‌های غیرمستقیم تعیین می‌شود.

در بخش‌های قبلی با مفهوم تابع حالت آشنا شدید و آموختید که آنتالپی، یک تابع حالت است و تغییر آن در یک فرایند فقط به حالت آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد، بنابراین ممکن است که یک واکنش شیمیایی را بتوان از چند مسیر مختلف انجام داد ولی تغییر آنتالپی واکنش در همهٔ مسیرها یکسان است.

واکنش تولید آمونیاک را درنظر بگیرید.

$$۳H_۲(g) + N_۲(g) \rightarrow ۲NH_۳(g) \qquad \Delta H = -۹۲kJ$$

اگر با جزئیات این واکنش بیشتر آشنا شوید، خواهید دید که واکنش به‌صورت نوشته شده در بالا انجام نمی‌شود بلکه واکنش طی چند مرحله روی می‌دهد. در این واکنش ابتدا هیدرازین ($N_۲H_۴$) تولید می‌شود و سپس آمونیاک به‌وجود می‌آید.

مرحلهٔ یک $\quad ۲H_۲(g) + N_۲(g) \rightarrow N_۲H_۴(g) \qquad \Delta H^\circ_۱$

مرحلهٔ دو $\quad N_۲H_۴(g) + H_۲(g) \rightarrow ۲NH_۳(g) \qquad \Delta H^\circ_۲ = -۱۸۳kJ$

تغییر آنتالپی تبدیل هیدرازین به آمونیاک قابل اندازه‌گیری است و برای آن $\Delta H^\circ_۲ = -۱۸۳kJ$ به‌دست آمده است. ولی اگر بخواهیم $\Delta H^\circ_۱$ را اندازه‌گیری کنیم با مشکل روبه‌رو خواهیم شد. ولی به روش غیرمستقیم می‌توان گرمای واکنش تولید هیدرازین را محاسبه کرد. برای این منظور می‌توان از **قانون هس** استفاده کرد. این قانون به‌صورت زیر بیان می‌شود.

«اگر معادلهٔ یک واکنش را بتوان از جمع معادله‌های دو یا چند واکنش دیگر به‌دست آورد، ΔH واکنش یادشده را می‌توان از جمع جبری مقادیر ΔH همهٔ واکنش‌های تشکیل دهندهٔ آن، به‌دست آورد».

بنابراین مقدار $\Delta H^\circ_۱$ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta H^\circ = \Delta H^\circ_۱ + \Delta H^\circ_۲ \Rightarrow -۹۲kJ = \Delta H^\circ_۱ + (-۱۸۳kJ) \Rightarrow \Delta H^\circ_۱ = +۹۱kJ$$

مثال دیگری را درنظر بگیرید. فرض کنید که شما می‌خواهید تغییر آنتالپی برای تشکیل کربن مونوکسید (CO) از عنصرهای تشکیل دهنده‌اش (کربن و گاز اکسیژن) را به‌دست آورید.

$$2C(s، گرافیت) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$$

می‌دانید که مقادیر آنتالپی استاندارد تشکیل برای تشکیل یک مول از مادهٔ موردنظر است، بنابراین با تقسیم دو طرف معادله بر عدد ۲ به معادله‌ای دست می‌یابیم که طی آن یک مول کربن مونواکسید تولید می‌شود. نوشتن ضرایب کسری در معادله‌های موازنه شده، اگرچه رایج نیست ولی در این مبحث محاسبه‌های عددی را ساده‌تر می‌کند، بنابراین:

$$C(s، گرافیت) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \qquad \Delta H=?$$

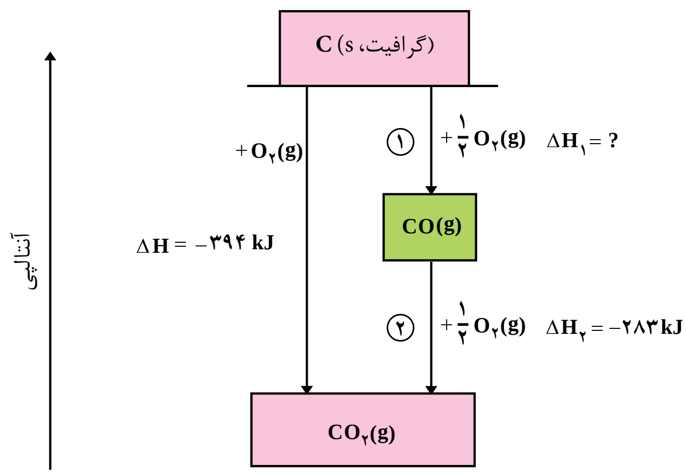
این واکنش را نمی‌توان به روش تجربی انجام داد. (چرا؟) ولی می‌توان تغییر آنتالپی تبدیل کربن به $CO_2(g)$ و همچنین تغییر آنتالپی تبدیل $CO(g)$ به CO_2 را به راحتی به دست آورد.

آنتالپی این دو فرایند به شرح زیر است:

$$C(s، گرافیت) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -394kJ$$

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -283kJ$$

شکل ۱۰ را با دقت نگاه کنید. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، $CO_2(g)$ در دو مرحله تشکیل می‌شود. مرحلهٔ نخست تشکیل $CO(g)$ است. برای این مرحله مقدار تجربی ΔH معلوم نیست. مرحلهٔ دوم تبدیل $CO(g)$ به $CO_2(g)$ است که ΔH این مرحله به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شده است. چون واکنش کلی (تبدیل C به CO_2) از جمع



شکل ۱۰ مراحل تشکیل CO_2 از کربن و اکسیژن

واکنش‌های این دو مرحله به‌دست می‌آید، پس آنتالپی واکنش کلی هم از جمع آنتالپی‌های این دو مرحله به‌دست می‌آید.

$$C(s,\text{گرافیت}) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \qquad \Delta H_1^\circ = ?$$

$$+ \quad \cancel{CO(g)} + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_2^\circ = -283kJ$$

$$C(s,\text{گرافیت}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_{\text{کل}} = -394kJ$$

$$\Delta H_{\text{کل}} = \Delta H_1^\circ + \Delta H_2^\circ$$

$$-394 = \Delta H_1^\circ + (-283kJ)$$

$$\Delta H_1^\circ = -111kJ$$

نمونهٔ حل شده

آنتالپی استاندارد تشکیل متان، $CH_4(g)$، را از کربن جامد (گرافیت) و گاز هیدروژن محاسبه کنید.

$$C(s,\text{گرافیت}) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$$

برای محاسبهٔ ΔH این واکنش می‌توانید از واکنش‌های زیر استفاده کنید.

$$1)\ C(s,\text{گرافیت}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_1^\circ = -394kJ$$

$$2)\ H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H_2^\circ = -286kJ$$

$$3)\ CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) \qquad \Delta H_3^\circ = -890kJ$$

پاسخ: اگر به این واکنش‌ها دقت کنید، متوجه می‌شوید که نمی‌توان واکنش‌های ۱، ۲ و ۳ را باهم جمع کرد و معادلهٔ مربوط به تشکیل متان را به‌دست آورد. براساس معادلهٔ موردنظر، متان $CH_4(g)$ باید فراوردهٔ واکنش باشد، در حالی که در معادلهٔ ۳ متان یک واکنش دهنده است. پس باید معادلهٔ ۳ را وارونه کرد. وقتی که معادلهٔ واکنشی را وارونه می‌کنید، علامت ΔH آن واکنش هم تغییر می‌کند (چرا؟). بنابراین واکنش ۳ را وارونه می‌کنیم.

$$4)\ CO_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow CH_4(g) + 2O_2(g) \qquad \Delta H_4^\circ = 890kJ$$

به معادلهٔ ۴ دقت کنید. می‌بینید که برای انجام این واکنش ۲ مول آب نیاز است، در حالی که واکنش ۲ فقط برای تولید ۱ مول آب نوشته شده است. برای این منظور ضرایب استوکیومتری واکنش ۲ را در دو ضرب می‌کنیم؛ بنابراین، ΔH_2° هم در دو ضرب می‌شود. (چرا؟)

$$5)\ 2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) \qquad \Delta H_5^\circ = 2 \times \Delta H_2^\circ = -572kJ$$

با این تغییرها می‌توان معادله‌های جدید ۴ و ۵ را با معادلهٔ ۱ جمع کرد تا معادلهٔ واکنش کلی به‌دست بیاید.

$$۱)\ C(s،گرافیت) + O_۲(g) \rightarrow CO_۲(g) \qquad \Delta H_۱ = -۳۹۴kJ$$

$$۴)\ CO_۲(g) + ۲H_۲O(l) \rightarrow CH_۴(g) + ۲O_۲(g) \qquad \Delta H^\circ_۴ = ۸۹۰kJ$$

$$۵)\ ۲H_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow ۲H_۲O(l) \qquad \Delta H^\circ_۵ = -۵۷۲kJ$$

$$C(s،گرافیت) + ۲H_۲(g) \rightarrow CH_۴(g) \qquad \Delta H_{کل} = ?$$

$$\Delta H^\circ_{کل} = \Delta H^\circ_۱ + \Delta H^\circ_۴ + \Delta H^\circ_۵ = -۷۶kJ$$

خود را بیازمایید

۱ـ NO و CO دو گاز آلوده کنندهٔ هوا هستند که از اگزوز خودروها خارج می‌شوند. یک شیمی‌دان محیط‌زیست از طریق واکنش زیر راه‌های تبدیل این گازها را به گازهای کم‌ضررتر بررسی کرده است.

$$۲CO(g) + ۲NO(g) \longrightarrow ۲CO_۲(g) + N_۲(g) \qquad \Delta H = ?$$

با استفاده از اطلاعات داده شده برای واکنش‌های زیر، ΔH واکنش یاد شده را محاسبه کنید.

$$۱)\ ۲CO(g) + O_۲(g) \longrightarrow ۲CO_۲(g) \qquad \Delta H^\circ_۱ = -۵۶۶kJ$$

$$۲)\ N_۲(g) + O_۲(g) \longrightarrow ۲NO(g) \qquad \Delta H = ۱۸۰kJ$$

۲ـ **گاز آب** نامی است که برای مخلوطی از $H_۲$ و CO به‌کار برده می‌شود. این مخلوط با عبور دادن بخار آب از روی زغال چوب در دمای $۱۰۰۰^\circ C$ به‌دست می‌آید:

$$C(s،گرافیت) + H_۲O(g) \longrightarrow \underbrace{CO(g) + H_۲(g)}_{\text{گاز آب}}$$

معمولاً هیدروژنِ گاز آب، جدا و خالص می‌شود و به‌عنوان مادهٔ اولیه برای تولید آمونیاک به‌کار می‌رود. با استفاده از واکنش‌های زیر ΔH برای واکنش تشکیل گازآب را محاسبه کنید.

$$۱)\ C(s،گرافیت) + O_۲(g) \rightarrow CO_۲(g) \qquad \Delta H^\circ_۱ = -۳۹۴kJ$$

$$۲)\ ۲CO(g) + O_۲(g) \rightarrow ۲CO_۲(g) \qquad \Delta H^\circ_۲ = -۵۶۶kJ$$

$$۳)\ ۲H_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow ۲H_۲O(g) \qquad \Delta H^\circ_۳ = -۴۹۰kJ$$

۳ـ سوسک بمب‌افکن برای دفاع از خود، مخلوطی از چند ماده را به سمت دشمن



پرتاب می‌کند؛ به‌طوری که، این مواد به‌سرعت، طبق معادلهٔ زیر با هم واکنش می‌دهند و گرمای زیادی آزاد می‌کنند.

$$C_6H_6O_2(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + 2H_2O(l)$$

با استفاده از واکنش‌های زیر ΔH این واکنش را محاسبه کنید.

۱) $C_6H_6O_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + H_2(g) \quad \Delta H = 177kJ$

۲) $H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(l) + \frac{1}{2}O_2(g) \quad \Delta H = -94.6kJ$

۳) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) \quad \Delta H = -286kJ$

آنتالپی‌های استاندارد تشکیل و محاسبهٔ گرمای واکنش

با استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل مواد شرکت‌کننده در یک واکنش می‌توان گرمای آن واکنش را محاسبه کرد. گرمای یک واکنش شیمیایی در دما و فشار ثابت برابر با تفاضل مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها و آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش‌دهنده‌ها است؛ یعنی:

گرمای واکنش = [مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها] − [مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش‌دهنده‌ها]

چون در اینجا مواد شرکت‌کننده در واکنش در حالت استاندارد خود درنظر گرفته شده‌اند، آنتالپی یا گرمای واکنش، آنتالپی یا گرمای استاندارد آن واکنش (ΔH) خواهد بود.

نمونهٔ حل شده

واکنش سوختن کامل اتانول را درنظر بگیرید:

$$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$$

آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها به‌صورت زیر است:

ماده	$\Delta H_{\text{تشکیل}}$ (kJ.mol^{-1})
$C_2H_5OH(l)$	-۲۷۸
$CO_2(g)$	-۳۹۴
$H_2O(l)$	-۲۸۶

با استفاده از این اطلاعات، آنتالپی استاندارد واکنش سوختن اتانول را محاسبه کنید.

پاسخ:

آنتالپی استاندارد واکنش از تفاضل مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها و مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش‌دهنده‌ها به‌دست می‌آید:

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = [۲\times\Delta H_{\text{تشکیل}}(CO_۲) + ۳\Delta H_{\text{تشکیل}}(H_۲O)]$$
$$-[۱\times\Delta H_{\text{تشکیل}}(C_۲H_۵OH) + ۳\times\Delta H_{\text{تشکیل}}(O_۲)]$$
$$=[۲\times(-۳۹۴) + ۳(-۲۸۶)]\,[-۲۷۸ + (۳\times۰)]$$
$$= -۱۳۶۸\ kJ$$

$\Delta H^{\circ}_{\text{تشکیل}}\ (kJ.mol^{-۱})$	ماده
-۱۱۱	$CO(g)$
-۲۳۹	$CH_۳OH(l)$
-۱۲ ۷	$CaCO_۳(s)$
-۶۳۵	$CaO(s)$
-۳۹۴	$CO_۲(g)$
۱۲/۵	$Fe(l)$
-۸۲۲	$Fe_۲O_۳(s)$
-۱۶۷	$Al_۲O_۳(s)$

خود را بیازمایید

۱ـ با استفاده از آنتالپی‌های استاندارد تشکیل داده شده، آنتالپی هریک از واکنش‌های زیر را محاسبه کنید.

(آ) $۲H_۲(g) + CO(g) \rightarrow CH_۳OH(l)$

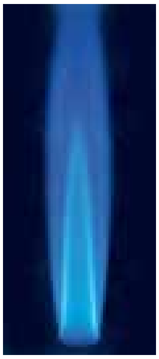
(ب) $CaCO_۳(s) \rightarrow CaO(s) + CO_۲(g)$

(پ) $۲Al(s) + Fe_۲O_۳(s) \rightarrow ۲Fe(l) + Al_۲O_۳(s)$

آنتروپی و تعیین جهت پیشرفت واکنش‌های شیمیایی

یکی از هدف‌های ترمودینامیک تعیین جهت پیشرفت واکنش‌های شیمیایی است. به عبارت دیگر تعیین جهتی که واکنش به‌طور خودبه‌خود پیشرفت می‌کند. بسیاری از تغییرهایی که روزانه با آنها سروکار داریم، به‌طور خودبه‌خودی انجام می‌شود، شکل ۱۲. به‌عنوان نمونه اگر مقداری یخ را در دمای اتاق قرار دهید، بعد از مدتی خودبه‌خود شروع به ذوب شدن می‌کند. برخی از تغییرهای خودبه‌خودی، خیلی سریع‌اند. برای مثال هنگامی که شما یک جسم خیلی داغ را به‌طور تصادفی لمس می‌کنید، یک رشته واکنش‌های زیست شیمیایی بسیار سریع رخ می‌دهد. برخی از تغییرهای خودبه‌خود کندتر انجام می‌شوند. برای نمونه، آهن به آهستگی به‌طور خودبه‌خود زنگ می‌زند.

یکی از کمیت‌هایی که می‌توان برای تعیین جهت خودبه‌خودی واکنش‌ها استفاده کرد، تغییر انرژی آن واکنش است. به شکل ۱۲ نگاه کنید، همهٔ رویدادهای نشان داده شده خودبه‌خودی‌اند. آب خودبه‌خود از آبشار به پایین فرو می‌ریزد، وسایل آهنی در مجاورت هوا و رطوبت به آهستگی زنگ می‌زنند و سوخت‌ها می‌سوزند. هر یک از این رویدادها با کاهش انرژی همراه است. هنگامی که آب از آبشار به پایین می‌ریزد، انرژی



سوختن سوخت



زنگ‌زدن آهن



ریزش آب آبشارها

شکل ۱۲ برخی از تغییرهای خودبه‌خودی

پتانسیل آن کاهش می‌یابد. وقتی که مخلوط گاز متان و اکسیژن می‌سوزد، یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و انرژی مخلوط کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی به‌صورت گرما آزاد می‌شود. چون همهٔ این رویدادها خودبه‌خودی‌اند، نتیجه می‌گیریم:

«اگر در تغییری انرژی سامانه کاهش یابد، آن تغییر می‌تواند خودبه‌خود باشد.»

به تغییری که در آن انرژی سامانه کاهش می‌یابد، گرماده گفته می‌شود؛ بنابراین، می‌توان گفت که تغییرهای گرماده اغلب تمایل دارند که به‌صورت خودبه‌خودی انجام شوند.

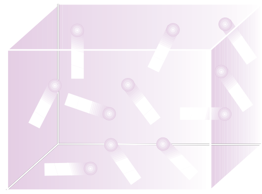
اغلب واکنش‌های شیمیایی که در آنها انرژی فراورده‌ها از انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر است، خودبه‌خودی‌اند. چون بیشتر واکنش‌ها در فشار ثابت انجام می‌شوند، می‌توان گفت:

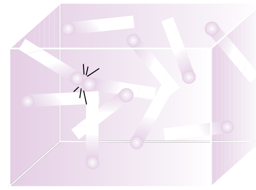
واکنش‌هایی که ΔH آنها منفی است، اغلب خودبه‌خود انجام می‌شوند.

آیا هر تغییر گرماده، خودبه‌خودی و هر تغییر گرماگیر، غیر خودبه‌خودی است؟ اگر در واکنشی، انرژی فراورده‌ها از انرژی واکنش‌دهنده‌ها بالاتر باشد، آیا احتمال دارد که این واکنش خودبه‌خود باشد؟ باید توجه داشت که انرژی سامانه فقط یکی از عوامل تعیین کنندهٔ جهت پیشرفت یک واکنش است. تغییرهای بسیاری وجود دارند که انرژی آنها کاهش نمی‌یابد ولی خودبه‌خودی انجام می‌شوند. پس به‌نظر می‌رسد که باید عامل دیگری غیر از انرژی در تعیین جهت چنین تغییرهایی مؤثر باشد. این عامل را با یک مثال معرفی می‌کنیم.

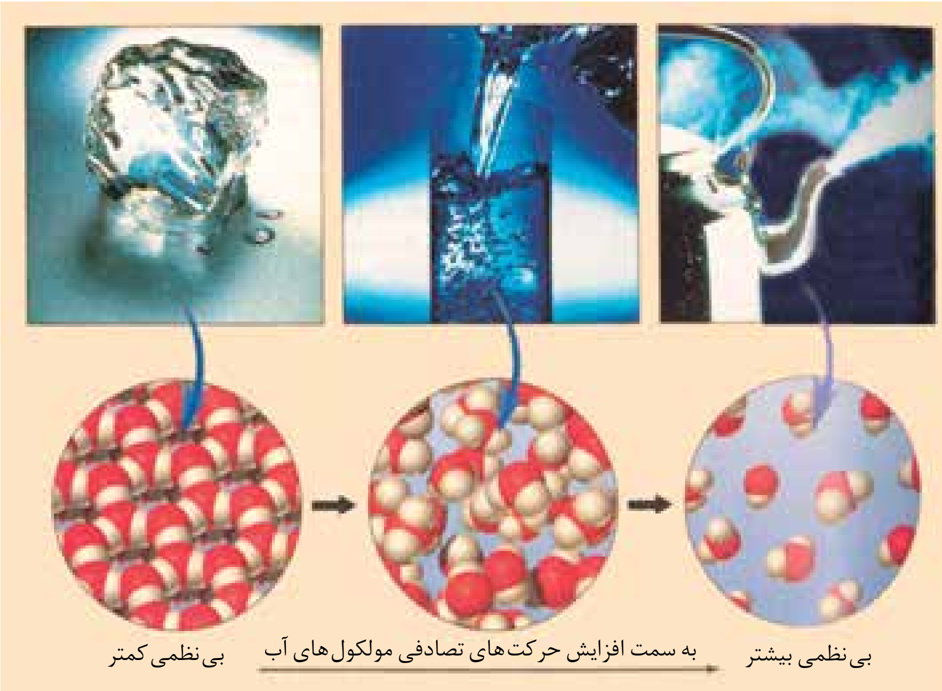
یخ صفر درجه از محیط پیرامون خود گرما جذب می‌کند و خودبه‌خود ذوب می‌شود، بدون این که دمای آن تغییر کند. در شکل ۱۳ می‌بینید که نظم مولکول‌ها در آب مایع کمتر از یخ و در بخار آب این نظم کمتر از آب مایع است.

به شکل ۱۴ نگاه کنید. این شکل یک سامانهٔ منزوی را نشان می‌دهد. این سامانه از دو حباب جدا از هم تشکیل شده، که میان آنها یک شیر تعبیه شده است. در حباب سمت





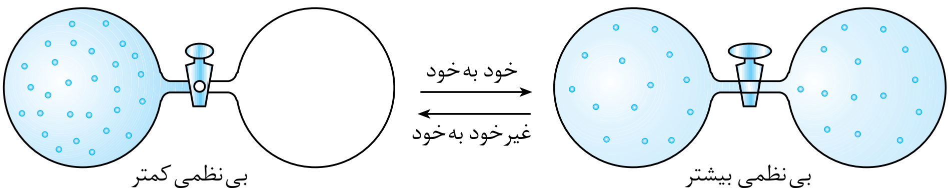
ذره‌های سازندهٔ یک ماده در دمای بالا دارای انرژی جنبشی بیشتر و بی‌نظمی زیادتری هستند.



شکل ۱۳ ذوب شدن یخ و تبدیل آب به بخار آب. در اینجا میزان بی‌نظمی چه رابطه‌ای با دما دارد؟

چپ، گاز نئون با فشار یک اتمسفر وجود دارد. هنگامی که شیر باز شود، گاز خودبه‌خود در حباب دوم وارد شده، در کل سامانه پخش می‌شود و فشار گاز در مجموع کاهش می‌یابد. علت پخش شدن اتم‌های گاز نئون در دو حباب این است که هر اتم اکنون در یک سامانه با حجمی دو برابر حجم اولیه قرار گرفته است و در واقع فضای بیشتری در اختیار دارد. از این رو تعداد راه‌هایی که اتم‌های گاز می‌توانند در این فضای جدید پخش شوند، افزایش می‌یابد و در واقع می‌توانند بی‌نظمی بیشتری پیدا کنند. از این‌رو، اتم‌های گاز ترجیح می‌دهند که همهٔ حجم سامانه را اشغال کنند.

آنتروپی یک سامانهٔ منزوی طی یک فرایند خودبه‌خودی، افزایش می‌یابد.



شکل ۱۴ دو حباب متصل به هم که یکی از حباب‌های آن با گاز نئون پر شده است؛ وضعیت دو حباب پیش و پس از بازشدن شیر

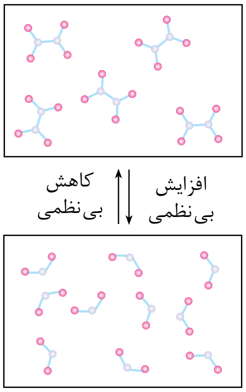
گرچه اغلب واکنش‌های گرماده خودبه‌خود هستند ولی واکنش‌های گرماگیر زیادی وجود دارند که خودبه‌خود انجام می‌شوند. برای مثال، تجزیهٔ $N_2O_4(g)$ به $NO_2(g)$ یک

واکنش گرماگیر است ولی خودبه‌خود انجام می‌شود.

$$N_2O_4(g) \rightarrow 2NO_2(g) \qquad \Delta H = 58kJ$$

فکر کنید

علت پیشرفت خود به خودی واکنش تجزیهٔ $N_2O_4(g)$ افزایش بی‌نظمی است. این افزایش بی‌نظمی را توجیه کنید.



واکنش تبدیل $N_2O_4(g)$ به $NO_2(g)$

حل شدن آمونیوم نیترات (NH_4NO_3) در آب را درنظر بگیرید. می‌دانید که آمونیوم نیترات یک جامد یونی است. یون‌های آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) در بلورهای آمونیوم نیترات به‌طور منظم آرایش یافته‌اند. وقتی که آمونیوم نیترات در آب حل می‌شود، نظم یون‌ها در بلور آن از بین می‌رود. این یون‌ها در بین مولکول‌های آب پخش می‌شوند. یعنی بعد از حل شدن آمونیوم نیترات در آب، بی‌نظمی سامانه افزایش می‌یابد.

به‌طور کلی در واکنش‌ها یا تغییرهای گرماگیر که خودبه‌خود انجام می‌شوند، با انجام واکنش یا تغییر، بی‌نظمی افزایش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان افزایش بی‌نظمی را به‌عنوان عامل دیگری برای خودبه‌خود انجام شدن این‌گونه تغییرهای فیزیکی و شیمیایی درنظر گرفت. **آنتروپی** کمیتی ترمودینامیکی است که میزان این بی‌نظمی را بیان می‌کند. آنتروپی را می‌توان معیاری از بی‌نظمی یک سامانه تعریف کرد.

مفهوم آنتروپی در سال ۱۸۶۵ توسط رودولف کلازیوس دانشمند آلمانی برای توجیه جهت انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی ارائه شد.

آنتروپی را با حرف «S» نشان می‌دهند. به‌طور کلی می‌توان گفت که هر تغییری که باعث افزایش آنتروپی شود، می‌تواند خودبه‌خود باشد. مانند انرژی درونی و آنتالپی، آنتروپی هم یک تابع حالت و کمیتی مقداری است. یعنی تغییر آنتروپی نیز فقط به حالت آغازی و پایانی سامانه بستگی دارد. بنابراین تغییر آنتروپی سامانه را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\Delta S = S_{\text{پایانی}} - S_{\text{آغازی}}$$

بسیاری از واکنش‌های شیمیایی مانند سوختن کاغذ در شرایط معین در یک جهت خاص خودبه‌خود انجام می‌شوند، درحالی که در جهت عکس به‌طور خودبه‌خود پیشرفتی نمی‌کنند.

به‌عنوان نمونه تغییر آنتروپی در یک واکنش شیمیایی به آنتروپی فراورده‌ها و واکنش‌دهنده‌ها بستگی دارد. اگر ΔS مثبت باشد؛ یعنی در آن تحول یا تغییر، سامانه نامنظم‌تر شده است (یعنی $S_{\text{آغازی}} > S_{\text{پایانی}}$). اگر ΔS منفی باشد، در آن صورت در آن تحول یا تغییر، سامانه منظم‌تر شده است (یعنی $S_{\text{آغازی}} < S_{\text{پایانی}}$). بنابراین می‌توان گفت که به‌طور کلی:

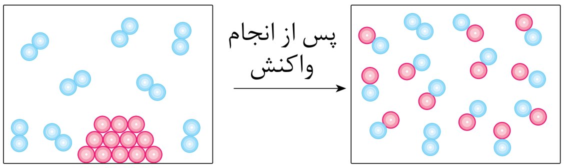
هر تغییر شیمیایی یا فیزیکی به‌طور طبیعی در جهتی پیشرفت می‌کند که به سطح انرژی پایین‌تر (ΔH کوچک‌تر) و آنتروپی بالاتر (ΔS بزرگ‌تر) برسد.

فکر کنید

۱ـ مطابق معادلهٔ زیر اتان را می‌توان از واکنش اِتین با هیدروژن تهیه کرد. برای این واکنش ΔS مثبت یا منفی است؟ چرا؟

$$C_۲H_۲(g)+۲H_۲(g)\rightarrow C_۲H_۶(g)$$

۲ـ شکل زیر را بادقت نگاه کنید. برای واکنش نشان داده شده، ΔS مثبت یا منفی است؟ توضیح دهید.



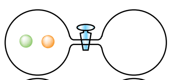
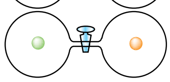
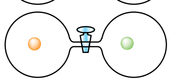
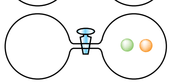
بیشتر بدانید

آنتروپی و احتمال

حالتی را درنظر بگیرید که در آن تعداد معینی از مولکول‌ها درون سامانهٔ گازی در دما و حجم ثابت وجود دارند. هر مولکول در این سامانه افزون بر جنبش‌های انتقالی، جنبش‌های چرخشی و ارتعاشی نیز دارد.

اگر برای این سامانه تغییر دما در حجم ثابت یا تغییر حجم در دمای ثابت رخ دهد، هر مولکول می‌تواند موقعیت‌های گوناگونی را نسبت به دیگر مولکول‌ها داشته باشد. به هریک از این موقعیت‌های گوناگون و قابل دسترس یک ریز حالت گفته می‌شود و تعداد ریز حالت‌ها برای یک حالت از سامانه، تابع قواعد آمار و احتمال است.

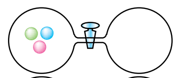
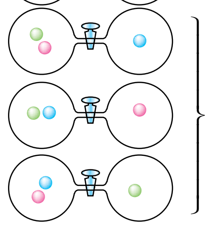
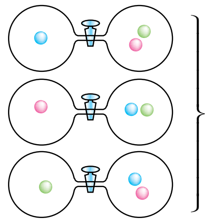
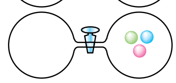
تصور کنید در یک سامانهٔ منزوی با دما و حجم ثابت، دو اتم تمیزپذیر هلیم (ایزوتوپ $^{۴}_{۲}He$ با نماد ● و ایزوتوپ $^{۳}_{۲}He$ با نماد ●) وجود دارند. با باز شدن شیر بین دو حباب در این ظرف، این دو اتم می‌توانند به شکل‌های گوناگونی در این دو حباب توزیع شوند. هریک از الگوهای توزیع در این سامانه، یک ریزحالت به‌شمار می‌رود. به جدول زیر دقت کنید.

توزیع (حالت)	شکل سامانهٔ منزوی	راه‌های توزیع (ریزحالت‌ها)	احتمال توزیع
۰ و ۱		۱	$\frac{۱}{۴}$
۱ و ۱	 	۲	$\frac{۲}{۴}=\frac{۱}{۲}$
۲ و ۰		۱	$\frac{۱}{۴}$
		جمع ریزحالت‌ها = ۴	جمع احتمال‌ها = ۱

مطابق جدول هرچه شمار ریزحالت‌ها (راه‌های توزیع ذره‌ها در یک سامانهٔ منزوی) بیشتر باشد، احتمال توزیع و دسترسی به آن حالت بیش‌تر است. به دیگر سخن حالت‌های نامنظم، احتمال وقوع و

دسترسی بیشتری از حالت‌های منظم دارند. این الگو نشان می‌دهد هرچه تعداد ریزحالت‌ها یا راه‌های توزیع ذره‌ها در یک سامانهٔ منزوی بیشتر باشد، آنتروپی سامانه بیشتر خواهد بود.

همچنین هرچه تعداد ذره‌های موجود در سامانهٔ منزوی بیشتر باشد، تعداد ریز حالت‌ها برای انرژی درونی ثابت، بیشتر و آنتروپی نیز بیشتر است. از این‌رو آنتروپی یک کمیت مقداری است. برای درک این مطلب به توزیع سه اتم تمیزپذیر نئون در یک سامانهٔ منزوی با دما و حجم ثابت توجه کنید.

توزیع (حالت)	شکل سامانهٔ منزوی	تعداد راه‌های توزیع (ریزحالت‌ها)	احتمال توزیع
۳ و ۰		۱	$\frac{۱}{۸}$
۱ و ۲		۳	$\frac{۳}{۸}$
۲ و ۱		۳	$\frac{۳}{۸}$
۰ و ۳		۱	$\frac{۱}{۸}$
		جمع ریزحالت‌ها = ۸	جمع احتمال‌ها = ۱

○: ${}^{۲۰}_{۱۰}\mathrm{Ne}$

○: ${}^{۲۱}_{۱۰}\mathrm{Ne}$

○: ${}^{۲۲}_{۱۰}\mathrm{Ne}$

در این سامانه نیز حالت‌های (۱و۲) و (۲و۱) ریزحالت‌های بیشتری را دربر داشته از این‌رو احتمال توزیع و درنتیجه آنتروپی بیشتری دارند. نخستین بار لودویک بولتزمن، فیزیک‌دان اتریشی (۱۹۰۶ــ۱۸۴۴) پس از تلاش و پژوهش‌های دقیق دریافت که آنتروپی (S) با تعداد ریزحالت‌های ممکن برای سامانه رابطه مستقیم دارد. این رابطه بر روی سنگ قبر وی نیز حک شده است.

این توصیف از آنتروپی نشان می‌دهد که باید S را وابسته به احتمال بدانیم نه وابسته به بی‌نظمی، واژه‌ای که در ذهن تنها آشفتگی را تداعی می‌کند.

پیش‌گویی جهت انجام واکنش‌های شیمیایی

در بیشتر واکنش‌های شیمیایی هم آنتروپی و هم آنتالپی تغییر می‌کند؛ بنابراین به‌هنگام اظهارنظر دربارهٔ خودبه‌خودی بودن یا نبودن این واکنش‌ها باید به نقش هر دو عامل (آنتالپی و آنتروپی) توجه کرد. در واقع هر دوی آنها در شرایط معین بر خودبه‌خود انجام شدن یک واکنش تأثیر می‌گذارند و در حقیقت رقابت بین این دو عامل است که تعیین می‌کند واکنش در کدام جهت پیشرفت می‌کند. این دو عامل گاهی در یک جهت و گاهی در خلاف جهت هم عمل می‌کنند.

واکنش‌های خودبه‌خود: $\Delta H<0$ و $\Delta S>0$

واکنش‌های غیر خودبه‌خود: $\Delta H>0$ و $\Delta S<0$

برای روشن‌شدن مطلب دو مثال را با هم بررسی می کنیم.

❋ واکنش سوختن اتانول را درنظر بگیرید:

$$C_2H_5OH(l)+3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)+3H_2O(g)$$

این واکنش گرماده است و آنتروپی آن هم افزایش می‌یابد (چرا؟). پس برای این واکنش دو عامل آنتالپی و آنتروپی در یک جهت عمل می کنند و واکنش خودبه‌خود انجام می‌شود، ولی واکنش معکوس سوختن اتانول، یعنی:

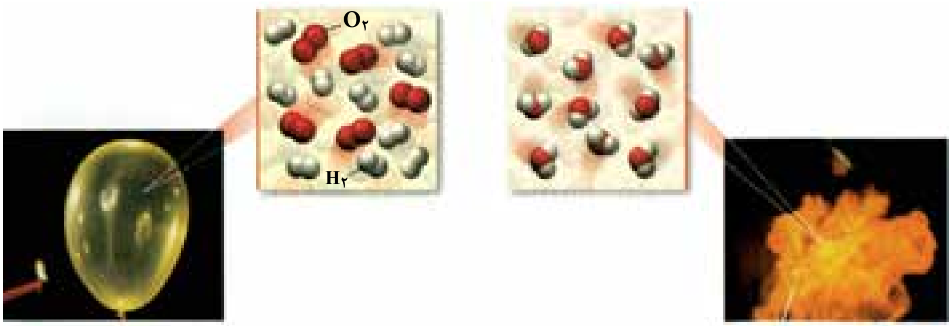
$$2CO_2(g)+3H_2O(g) \rightarrow C_2H_5OH(l)+3O_2(g)$$

هم گرماگیر و هم با کاهش آنتروپی همراه است. چون گرماگیر بودن و کاهش آنتروپی عوامل مساعدی برای انجام واکنش نیستند، پس این واکنش خودبه‌خود انجام نمی‌شود.

❋ واکنش سوختن هیدروژن را درنظر بگیرید شکل ۱۵.

$$2H_2(g)+O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$

مقدار آنتروپی یک سامانه در صفر مطلق برابر با صفر درنظر گرفته می‌شود.



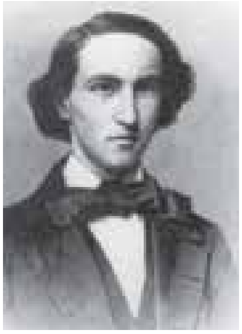
شکل ۱۵ سوختن H_2

در قانون دوم ترمودینامیک آنتروپی به عنوان ملاکی برای توضیح خودبه‌خود بودن فرایندهای طبیعی معرفی می‌شود.

می‌دانید که این واکنش به شدت گرماده است ولی در این واکنش آنتروپی کاهش می‌یابد (چرا؟). گرماده بودن واکنش، عامل مساعدی برای خودبه‌خود انجام شدن واکنش است ولی کاهش آنتروپی برخلاف آن عمل می کند. پس در این واکنش، دو عامل آنتالپی و آنتروپی در خلاف جهت هم عمل می کنند و هر کدام که اثر بیشتری داشته باشد، واکنش را کنترل می کند. چون سوختن هیدروژن خودبه‌خود انجام می‌شود، بنابراین، در این مورد گرماده بودن واکنش یا کاهش آنتالپی بر کاهش آنتروپی غلبه می‌کند.

انرژی آزاد گیبس

چنان‌که دیدید آنتروپی و آنتالپی، انجام یک تحول یا تغییر خودبه‌خودی را کنترل می کنند، در ضمن با شیوهٔ رقابت آنها نیز تا حدودی آشنا شدید. از این‌رو مناسب به‌نظر می‌رسد



ویلارد گیبس
(۱۸۳۹ـ۱۹۰۳)

کمیت ترمودینامیکی دیگری را تعریف کنیم که بین آنتالپی و آنتروپی ارتباط برقرار می کند و به کمک آن بهتر می‌توان دربارهٔ رقابت آنها بحث کرد. کمیتی که آنتروپی و آنتالپی را به هم ربط می دهد، **انرژی آزاد** نامیده می شود. انرژی آزاد، مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند تعریف می‌شود. ویلارد گیبس فیزیک‌دان آمریکایی برای انرژی آزاد معادله‌ای به‌دست آورد که، به همین دلیل و به افتخار او این انرژی را انرژی آزاد گیبس نامیده‌اند. انرژی آزاد گیبس را با حرف G، نمایش می‌دهند. تغییر انرژی آزاد گیبس با معادلهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

دما (به کلوین) — T
تغییر انرژی آزاد گیبس — ΔG
آنتالپی واکنش — ΔH
تغییر آنتروپی — ΔS

چنان‌که از این معادله برمی‌آید، ΔG به دما بستگی دارد. این که کدام‌یک، ΔH یا ΔS جهت واکنش را تعیین می کند، به مقدار و علامت آنها بستگی دارد. انرژی آزاد گیبس تابع حالت است و تغییر آن فقط به حالت آغازی و پایانی هر تغییر یا تحول بستگی دارد.

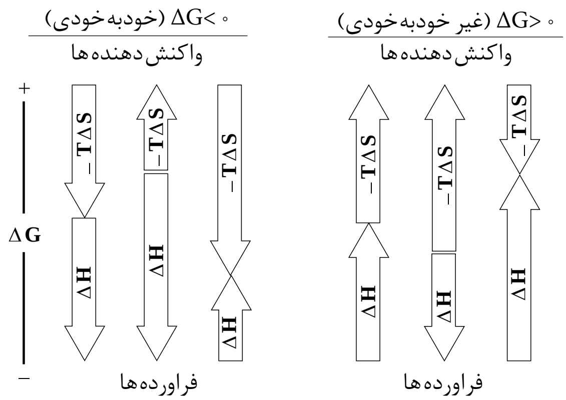
با توجه به علامت ΔG می‌توان گفت که آیا یک تغییر می‌تواند خودبه‌خود انجام شود یا نه.

آ) برای یک تغییر خودبه‌خودی، $\Delta G<0$ است.

ب) برای یک تغییر غیرخودبه‌خودی، $\Delta G>0$ است.

علامت ΔG به علامت و مقدار ΔH و عبارت $-T\Delta S$ بستگی دارد. در شکل ۱۶ ΔH و عبارت $-T\Delta S$ که به روش‌های مختلف با هم ترکیب شده‌اند، نشان داده شده است. این واقعیت که مقدار عددی عبارت $-T\Delta S$ به دما بستگی دارد، نشان می دهد که برخی تغییرها با توجه به شرایط دمایی ممکن است خودبه‌خودی یا غیر خودبه‌خودی باشند. برای مثال، در

اگر مقدار ΔG برای واکنشی صفر باشد، در این صورت واکنش در هر دو مسیر خودبه‌خود خواهد بود و گفته می‌شود که واکنش در تعادل است. با بحث تعادل در سال آینده آشنا خواهید شد.



شکل ۱۶ حالت‌های مختلفی که ΔH و عبارت $-T\Delta S$ می‌توانند بر یکدیگر اثر بگذارند. اگر برایند دو بردار به سمت پایین باشد، واکنش خود به خودی انجام می‌شود. اگر برایند به سمت بالا باشد، واکنش غیر خود به خود خواهد بود.

دمای پایین یک ΔH نامساعد (مثبت) ممکن است از $-T\Delta S$ مساعد (منفی) بزرگ‌تر باشد ولی در دمای بالاتر، مقدار $-T\Delta S$ افزایش یابد و بزرگ‌تر از ΔH شود. از این‌رو یک تغییر گرماگیر که در دمای پایین غیرخودبه‌خود است، می‌تواند در دمای بالا به‌طور خودبه‌خود انجام شود.

نمونهٔ حل شده

با استفاده از داده‌های زیر، نشان دهید که واکنش سوختن گاز هیدروژن در دمای ۲۵ C، خودبه‌خود است.

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g) \qquad \Delta H = -484 kJ$$

$$\Delta S = -89 J.K^{-1}$$

پاسخ: با استفاده از رابطه گیبس، ΔG واکنش را به‌دست می‌آوریم:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$\Delta G = -484 kJ - \left[(273+25)K \times -89\frac{J}{K})\right] \times \frac{1 kJ}{10^3 J} = -457/5 kJ$$

چون $\Delta G < 0$ است، پس واکنش در این دما خود به‌خود است.

توجه کنید که در رابطهٔ گیبس یکای دما، کلوین (K) و یکای آنتروپی ژول بر کلوین ($J.K^{-1}$) است.

خود را بیازمایید

۱ـ جدول زیر را کامل کنید.

ΔH	ΔS	ΔG	آیا واکنش خودبه‌خود است؟
منفی	؟	؟	بله، در همهٔ دماها
؟	منفی	؟	خیر، در هیچ شرایطی

۲ـ کدام‌یک از واکنش‌های زیر در دمای اتاق در جهت نشان داده شده خود به خود است؟ چرا؟

آ) $4NO(g) + 6H_2O(g) \rightarrow 4NH_3(g) + 5O_2(g)$ $\quad \Delta H = +906 kJ$ $\quad \Delta S = -20 J.K^{-1}$

ب) $2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$ $\quad \Delta H = -186 kJ$ $\quad \Delta S = 140 J.K^{-1}$

بخش ۳

محلول‌ها



آب دریا نمونه‌ای از محلول‌هاست که سالانه میلیون‌ها تُن نمک از آن استخراج می‌شود.

در زندگی روزانهٔ خود با محلول‌های گوناگونی سروکار دارید. هوایی که تنفس می‌کنید، چای و نوشیدنی‌های دیگری که می‌نوشید، سکه‌ای که در جیب خود دارید، مایع‌های پاک کننده‌ای که برای شست‌وشو استفاده می‌کنید، بنزین و گازوئیلی که به‌عنوان سوخت در باک وسایط نقلیه می‌ریزید و از همه مهم‌تر آبی که روزانه بارها و بارها برای مصارف مختلفی چون شستن، پختن و نوشیدن استفاده می‌کنید، همگی محلول‌اند. محلول‌ها نقش مهمی در زندگی ما دارند. در این بخش با خواص و کاربرد محلول‌ها بیشتر آشنا می‌شوید.

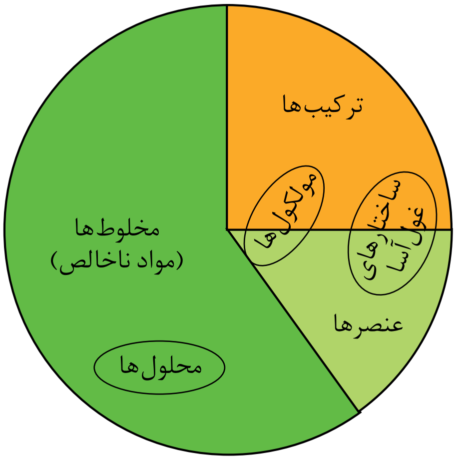
محلول‌ها نمونه‌ای از مواد ناخالص

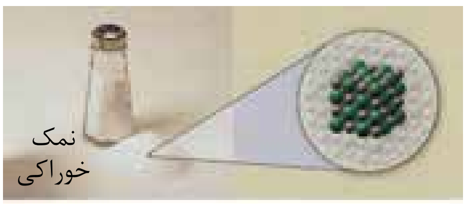
آموخته‌اید که مواد را به دو دستهٔ خالص (شامل عنصر و ترکیب) و ناخالص (شامل مخلوط همگن یا محلول و مخلوط ناهمگن) طبقه‌بندی می‌کنند. در سال گذشته با ساختار و رفتار عنصرها و ترکیب‌های شیمیایی نیز آشنا شدید و اطلاعات بسیاری دربارهٔ

آنها به دست آوردید، اما دستهٔ بزرگ‌تری از مواد شیمیایی هستند که با عنوان مواد ناخالص یا مخلوط شناخته می‌شوند.

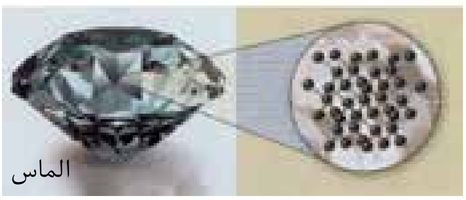
فکر کنید

دانش‌آموزی، نمودار دایره‌ای زیر را برای دسته‌بندی مواد پیشنهاد داده است. شما نیز با بررسی تصویرهای داده شده، نام هر یک از آنها را در مکان مناسب روی نمودار بنویسید.

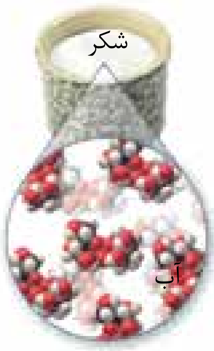














فاز چیست؟

یک لیوان پر از آب خالص را در نظر بگیرید. آیا رنگ، بو، طعم و حالت فیزیکی آب در همه جای درون لیوان یکسان است؟ خواصی مانند چگالی، ضریب شکست نور، ظرفیت گرمایی ویژه و نقطهٔ جوش چطور؟ اگر فضای درون این لیوان را که با آب خالص پر شده است، یک سامانه در نظر بگیرید؛ مشاهده‌ها نشان می‌دهد که خواص شدتی این سامانه در همه جای آن یکسان است. صرف به کار بردن واژهٔ حالت برای معرفی این ویژگی‌ها یعنی یکسان و یکنواخت بودن ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ این سامانه، کافی نیست. از این‌رو به جای واژهٔ حالت از واژهٔ **فاز** استفاده می‌شود. برای یک مادهٔ خالص اغلب این دو واژه هم معنا هستند. برای مثال آب در حالت بخار را آب در فاز بخار نیز می‌گویند. به این ترتیب یخ، فاز جامد آب خواهد بود. اگر نیمی از آب درون لیوان را خالی کنیم، در این صورت سامانه یادشده دارای دو فاز ـ بخشی از لیوان که با آب پر شده (یک فاز مایع) و بخشی از لیوان که با هوا پر شده (یک فاز گاز) ـ خواهد شد. افزودن یک قطعه یخ یا مقداری روغن مایع درون این لیوان تعداد فازها را به سه افزایش می‌دهد (چرا؟ در هر مورد این فازها کدام‌اند؟) به چنین سامانه‌ای مخلوط ناهمگن گفته می‌شود. در مخلوط‌های ناهمگن همواره مرز میان فازها قابل تشخیص است. به مرز میان دو فاز، **فصل مشترک** گفته می‌شود. اگر در مخلوطی این مرزها قابل تشخیص نباشد و مخلوط تنها یک فاز به‌وجود آورد، در این صورت این مخلوط یک فازی را مخلوط همگن یا محلول می‌گویند.

بخشی از یک سامانه که خواص شدتی در همه جای آن یکسان است فاز نامیده می‌شود.



یخ در اثر جذب گرما ذوب و به آب مایع تبدیل می‌شود. در این‌جا یخ یک فاز جامد را تشکیل می‌دهد. ولی بر اثر ذوب شدن به یک فاز مایع تبدیل می‌شود، بنابراین در اینجا تغییر فاز رخ داده است؛ زیرا یک فاز به فاز دیگری تبدیل شده است.
هنگامی که مادهٔ خالصی تغییر فاز می‌دهد ماهیت شیمیایی آن تغییر نمی‌کند؛ بنابراین تغییر فاز، یک تغییر فیزیکی است. به‌طور کلی هر کدام از تبدیل‌های جامد به مایع، مایع به بخار، بخار به جامد، مایع به جامد و جامد به بخار یک تغییر فاز به‌شمار می‌آید.

فکر کنید

مخلوط‌های زیر تهیه شده‌اند. با توجه به تعریف فاز، در هر سامانه تعداد فازهای موجود را تعیین کنید. به‌نظر شما کدام مخلوط ناهمگن و کدام محلول است؟ چرا؟

آ) مخلوط اتانول و آب

ب) مخلوط روغن با آب و مقداری نمک خوراکی

پ) مخلوط آب، روغن و جیوه

ت) مخلوط آب، یک قطعه یخ، روغن و یک قطعه آهن

محلول‌های مایع و اجزای آنها

یک محلول دست‌کم از دو جزء تشکیل شده است: **حلال** و **حل‌شونده**. جزئی که حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیشتری از محلول را تشکیل می‌دهد،

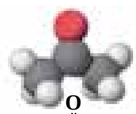
حلال نام دارد. در محلول آب نمک، آب حلال و نمک خوراکی، حل‌شونده است. اغلب محلول‌های موجود در طبیعت شامل یک حلال و چند حل‌شونده هستند. آب دریا نمونه‌ای از این نوع محلول‌هاست. برخی از اجزای این محلول را نام ببرید.

آب فراوان‌ترین و رایج‌ترین حلال شناخته شده است. این حلال، ترکیب‌های یونی و مولکولی بسیاری را در خود حل می‌کند. محلول‌هایی که حلال آنها آب است، **محلول آبی** نامیده می‌شوند. آب و محلول‌های آبی نقش مهمّی در زندگی روزانه دارند. اغلب فرایندهای زیست شیمیایی از قبیل هضم، جذب و سوخت‌وساز مواد غذایی در محلول آبی انجام می‌شوند. در صنایع شیمیایی تعداد زیادی از واکنش‌ها در محیط آبی صورت می‌گیرد. گرچه آب مهم‌ترین حلال شناخته شده است، اما حلال‌های مهم دیگری نیز وجود دارد. هگزان، اتانول و استون سه نمونهٔ مهم از حلال‌های آلی هستند (جدول ۱). به محلول حاصل از حلال‌های آلی، **محلول غیر آبی** می‌گویند.



در اثر نشت نفت خام به آب دریا، یک مخلوط دوفازی تشکیل می‌شود که آثار زیان‌بار زیست محیطی به‌دنبال دارد.

جدول ۱ برخی حلال‌های آلی و کاربردهای آنها

 $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	**هگزان** ؛ آلکانی با ۶ اتم کربن است و مولکول‌هایی ناقطبی دارد. این ماده، حلال بسیار مناسبی برای تعداد زیادی از ترکیب‌های ناقطبی است. هگزان مایع بی‌رنگ و فراری است که از نفت خام به‌دست می‌آید و به‌عنوان رقیق کننده (تینر) در رنگ‌های پوششی کاربرد دارد.
 CH_3CH_2OH	**اتانول**؛ پس از آب، اتانول مهم‌ترین حلال صنعتی است. این مایع بی‌رنگ و فرار به هر میزان با آب مخلوط می‌شود. از اتانول برای ضدعفونی کردن زخم‌ها و تولید مواد دارویی، آرایشی و بهداشتی نیز استفاده می‌شود.
 $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3$	**اَستون**؛ حلال مناسبی برای چربی‌ها، رنگ‌ها و انواع لاک‌هاست. این مایع بی‌رنگ و فرار به هر نسبت در آب حل می‌شود و از جمله حلال‌های پرکاربرد در آزمایشگاه‌های شیمی به‌شمار می‌آید.

اطلاعات جمع‌آوری کنید

در زندگی روزانه و در صنعت از حلال‌های آلی دیگری نیز استفاده می‌شود. در یک فعالیت گروهی فهرستی از این حلال‌ها، خواص و کاربردهای آنها همچنین آثار زیان‌باری که بر محیط‌زیست و سلامت انسان می‌گذارند، تهیه کنید و نتیجه را در قالب یک روزنامهٔ دیواری به کلاس ارائه دهید.

انحلال‌پذیری مواد در آب

در شیمی ۱ با مفهوم انحلال‌پذیری آشنا شدید. می‌دانید که در دمای یکسان میزان حل شدن مواد مختلف در آب متفاوت است. بیشترین مقدار از یک ماده که در دمای معین در ۱۰۰ گرم آب حل می‌شود، **انحلال‌پذیری** آن ماده را در آب مشخص می‌کند. در جدول ۲ انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های شیمیایی در آب در دمای ۲۰°C داده شده است.

جدول ۲ انحلال‌پذیری برخی ترکیب‌های شیمیایی در آب در ۲ °C

نام	فرمول شیمیایی	انحلال پذیری $\left(\frac{\text{حل شونده}}{۱۰۰\ gH_۲O}\right)$
متانول	$CH_۳OH$	به هر نسبتی در آب حل می‌شود.
اتانول	$C_۲H_۵OH$	به هر نسبتی در آب حل می‌شود.
شکر (ساکارز)	$C_{۱۲}H_{۲۲}O_{۱۱}$	۲ ۵
۱ـ هگزانول	$C_۶H_{۱۳}OH$	/۵۹
نقره کلرید	AgCl	کمتر از ۲ /
هیدروژن کلرید	HCl	۶۳
کلسیم سولفات	$CaSO_۴$	/۲۱
باریم سولفات	$BaSO_۴$	کمتر از ۳ /
پتاسیم نیترات	$KNO_۳$	۳۴

فکر کنید

با توجه به داده‌های جدول ۲ به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

آ) انحلال‌پذیری برای کدام یک از ترکیب‌ها از یک گرم حل‌شونده در ۱۰۰ گرم آب بیشتر است؟

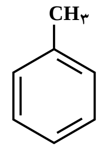
ب) انحلال‌پذیری برای کدام یک از ترکیب‌ها از ۰/۰۱ گرم حل‌شونده در ۱۰۰ گرم آب کمتر است؟

پ) انحلال‌پذیری کدام یک از ترکیب‌ها بین ۰/۰۱ تا ۱ گرم حل‌شونده در ۱۰۰ گرم آب است؟

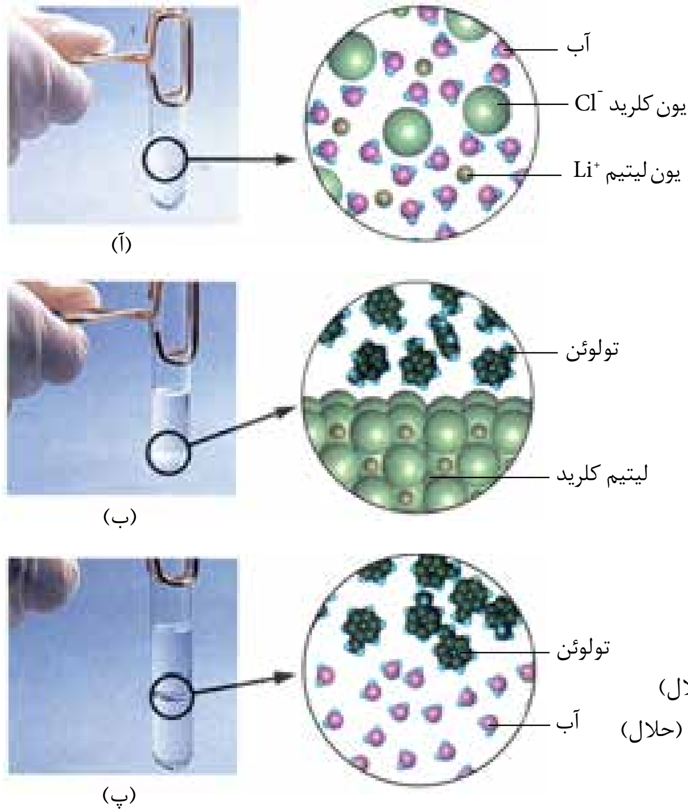
ت) اگر بخواهیم هر یک از موارد آ، ب و پ را با عنوان‌های نامحلول، کم‌محلول و محلول دسته‌بندی کنید، در این صورت کدام نام را به کدام مورد آ تا پ نسبت می‌دهید؟

چرا محلول‌ها به‌وجود می‌آیند؟

به آزمایش‌های نشان داده شده در شکل ۱ به دقت نگاه کنید. در هر آزمایش چه ترکیب‌هایی با هم آمیخته شده است؟ در کدام مورد دو مادهٔ آمیخته شده، انحلال‌پذیر و در کدام مورد، انحلال‌ناپذیر هستند؟



تولوئن یک هیدروکربن آروماتیک است و به مقدار زیادی در قطران زغال‌سنگ یافت می‌شود. مایعی بی‌رنگ و آتش‌گیر است و به عنوان حلال در صنایع مختلفی چون رنگ و رزین کاربرد دارد.



شکل ۱ مخلوط
آ) لیتیم کلرید جامد با آب (حلال)
ب) لیتیم کلرید جامد با تولوئن (حلال)
پ) تولوئن و آب

بدون انجام آزمایش نیز می‌توان انحلال‌پذیری یک ماده در یک حلال و تشکیل محلول‌ها را پیش‌بینی کرد. براساس آگاهی از نوع و میزان نیروهای جاذبهٔ موجود بین ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ حل شونده و حلال، پیش و پس از مجاورت با یکدیگر، پیش‌بینی انحلال‌پذیر بودن یا نبودن حل شونده در حلال یاد شده امکان‌پذیر است. به شکل ۱. آ توجه کنید. LiCl ترکیبی یونی است که در آن یون‌های Li^+ و Cl^- در یک شبکهٔ بلوری قرار دارند و با پیوند یونی یکدیگر را به شدت جذب می‌کنند. آب مولکول‌هایی قطبی دارد به‌طوری که در یک سر، جزئی بار مثبت (اتم‌های H) و در سر دیگر جزئی بار منفی (اتم O) دارند. هنگامی که LiCl در آب حل می‌شود، جاذبه‌ای قوی بین یون Cl^- و سر مثبت مولکول‌های آب ($Cl^- ... H_2O$) و یون Li^+ با سر منفی مولکول‌های آب ($H_2O ... Li^+$) به‌وجود می‌آید. این جاذبهٔ **یون ـ دوقطبی** انرژی لازم را برای جدا شدن یون‌های Li^+ و Cl^- از شبکهٔ بلور فراهم می‌کند. به‌طور کلی ترکیب‌های یونی تمایل دارند در حلال‌های قطبی حل شوند. البته میزان این انحلال‌پذیری برای ترکیب‌های

یونی مختلف متفاوت است و به نوع یون‌های سازنده و ساختار بلوری آنها بستگی دارد.

به شکل ۱. ب دقت کنید. تولوئن ترکیبی آلی است و مولکول‌های ناقطبی دارد. بین این مولکول‌ها نیروهای جاذبه وان‌دروالس وجود دارد که از جمله نیروهای بین‌مولکولی ضعیف به شمار می‌آیند. درحالی که LiCl ترکیبی یونی است. وقتی این دو با هم آمیخته می‌شوند، نیروی جاذبه بین یون‌های نمک و مولکول‌های تولوئن به اندازه‌ای نیست که بتواند بر پیوندهای یونی در شبکهٔ بلوری LiCl غلبه کند. مشاهدهٔ تجربی نیز درستی این ادعا را ثابت می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که ترکیب‌های یونی در مواد ناقطبی حل نمی‌شوند.

فکر کنید

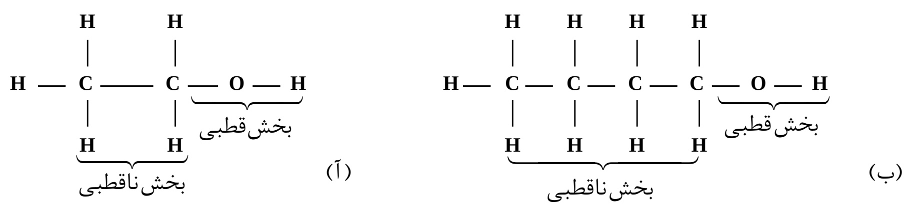
۱ـ با توجه به شکل ۱. پ آیا تولوئن در آب حل شده است؟ این مشاهدهٔ تجربی را توجیه کنید.

۲ـ نفتالِن در تولوئن حل می‌شود. آیا از این مشاهده می‌توان نتیجه گرفت که مولکول‌های نفتالِن ناقطبی‌اند؟ به‌عبارت دیگر آیا می‌توان نتیجه گرفت که «**شبیه، شبیه را در خود حل می‌کند**.»؟

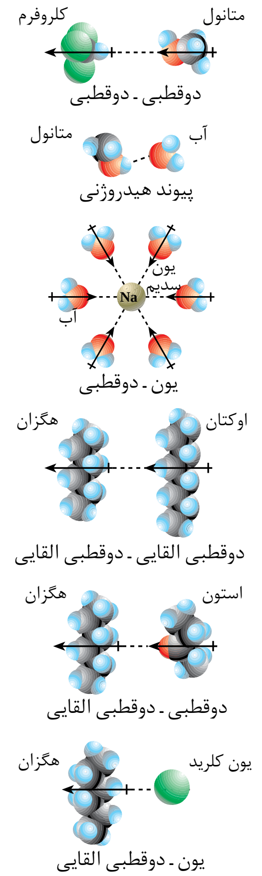
انحلال اتانول در آب را در نظر بگیرید. در ترکیب‌هایی مانند اتانول، نیروهای بین مولکولی از نوع پیوند هیدروژنی است. بین مولکول‌های قطبی آب نیز پیوند هیدروژنی وجود دارد. وقتی اتانول در آب حل می‌شود، پیوندهای هیدروژنی تازه‌ای بین مولکول‌های اتانول و مولکول‌های آب به‌وجود می‌آید. میزان این نیروهای جاذبهٔ بین مولکولی به اندازه‌ای است که بر پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های اتانول و پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب غلبه کرده، باعث انحلال اتانول در آب می‌شود. شکل ۲ پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های اتانول و آب را نشان می‌دهد. براساس این یافتهٔ تجربی (انحلال اتانول در آب) کدام پیوند هیدروژنی نشان داده شده در این شکل باید قوی‌تر باشد؟ چرا؟

توجه کنید که برخی از مولکول‌ها در ساختار خود یک بخش قطبی و یک بخش ناقطبی دارند. ۱ـ بوتانول و اتانول از این دست ترکیب‌ها هستند، شکل ۳.

انحلال پذیری چنین ترکیب‌هایی در آب، بستگی به این دارد که کدام بخش بر دیگری غالب است.

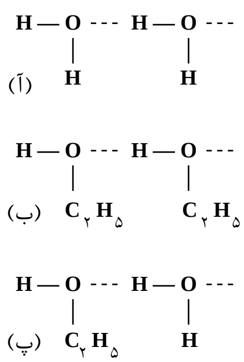


شکل ۳ آ) اتانول ب) ۱ـ بوتانول



انواع برهم کنش‌های بین ذره‌ای

نیروی جاذبهٔ بین مولکول آب و یک یون از نوع یون - دوقطبی است. این جاذبهٔ بین‌ذره‌ای از جاذبهٔ دوقطبی - دوقطبی و پیوند هیدروژنی قوی‌تر و از پیوند یونی (جاذبهٔ یون - یون) ضعیف‌تر است.



شکل ۲ پیوند هیدروژنی
آ) بین مولکول‌های آب
ب) بین مولکول‌های اتانول
پ) بین مولکول‌های آب و مولکول‌های اتانول

فکر کنید

جدول زیر، انحلال‌پذیری برخی از الکل‌های راست زنجیر را در آب نشان می‌دهد. با بررسی آن به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

الکل‌ها و اسیدهای آلی حداکثر با پنج کربن در آب محلول هستند.

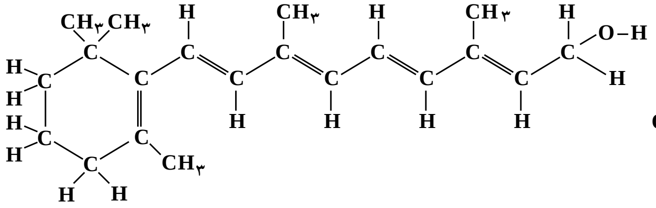
نام الکل	فرمول ساختاری الکل	انحلال پذیری $\left(\frac{\text{گرم حل شونده}}{۱۰۰\ gH_۲O}\right)$
متانول	$CH_۳OH$	به هر نسبتی در آب حل می‌شود.
اتانول	$CH_۳CH_۲OH$	به هر نسبتی در آب حل می‌شود.
۱ـ پروپانول	$CH_۳CH_۲CH_۲OH$	به هر نسبتی در آب حل می‌شود.
۱ـ بوتانول	$CH_۳(CH_۲)_۳OH$	۸/۲۱
۱ـ پنتانول	$CH_۳(CH_۲)_۴OH$	۲/۷
۱ـ هگزانول	$CH_۳(CH_۲)_۵OH$	/۵۹

آ) بخش‌های قطبی و ناقطبی را در هر یک از الکل‌ها مشخص کنید.

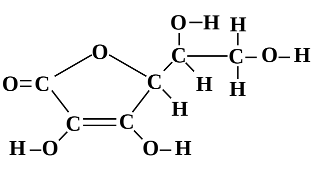
ب) انحلال‌پذیری الکل‌ها با افزایش تعداد کربن چه تغییری می کند؟ با دلیل توضیح دهید.

خود را بیازمایید

در شکل زیر ساختار ویتامین A (رتینول) و ویتامین C (آسکوربیک اسید) نشان داده شده است. به این شکل‌ها با دقت نگاه کنید و سپس به پرسش‌های مطرح‌شده پاسخ دهید.



ویتامین A(رتینول)



ویتامین C

آ) بخش‌های قطبی هر مولکول را روی شکل نشان دهید.

ب) به نظر شما کدام یک از این ویتامین‌ها باید در آب و کدام یک در چربی انحلال‌پذیر باشد؟ چرا؟

پ) مصرف بیش از اندازهٔ لازم از کدام ویتامین برای بدن مشکلی ایجاد نمی کند؟ چرا؟

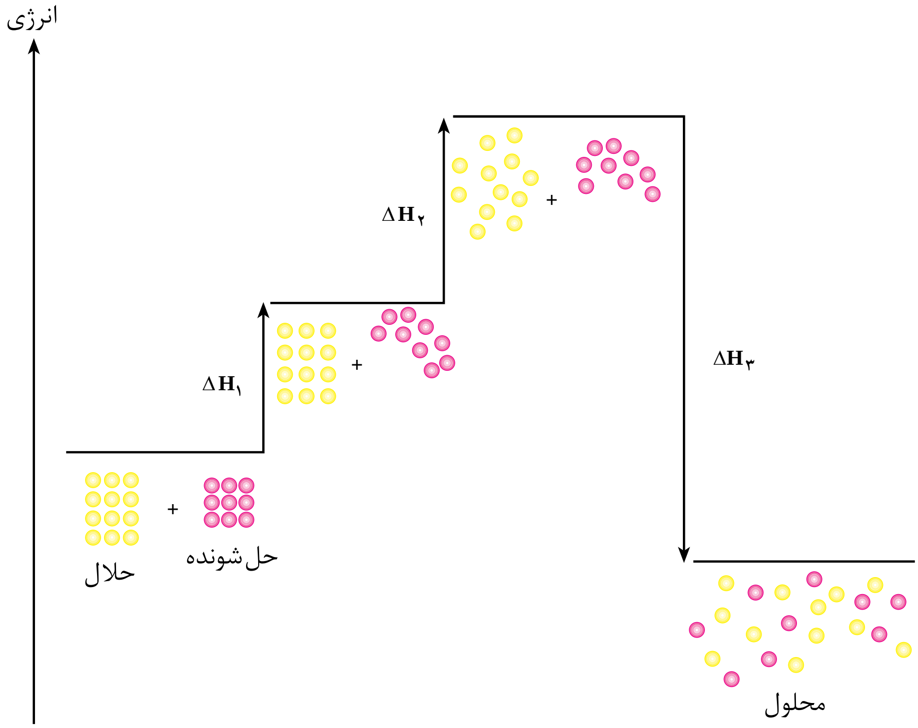
آنتالپی انحلال

فرایند انحلال با مبادلهٔ انرژی همراه است. تغییر آنتالپی مربوط به حل شدن یک مول حل‌شونده در مقدار زیادی حلال را گرمای انحلال یا آنتالپی انحلال ($\Delta H_{انحلال}$) می‌نامند. انحلال یک ترکیب مولکولی در آب را در نظر بگیرید. این انحلال از دید مولکولی شامل سه مرحله است، شکل ۴.

۱ـ جدا شدن مولکول‌های حل‌شونده از یکدیگر

۲ـ جدا شدن مولکول‌های آب از یکدیگر

۳ـ پراکنده شدن همگن مولکول‌های حل‌شونده بین مولکول‌های آب



شکل ۴ مراحل سه‌گانهٔ انحلال یک ترکیب مولکولی فرضی در آب
این مراحل به‌طور همزمان انجام می‌شوند.

فکر کنید

۱ـ با توجه به شکل ۴ به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

آ) هر یک از مراحل ۱، ۲ و ۳ را روی نمودار مشخص کنید و در هر مورد گرماده یا گرماگیربودن مرحلهٔ یادشده را با بیان علت معلوم کنید.

ب) براساس قانون هس، رابطه‌ای میان ΔH_1، ΔH_2 و ΔH_3 با آنتالپی انحلال بنویسید.

پ) این انحلال در مجموع گرماده یا گرماگیر است؟ چرا؟

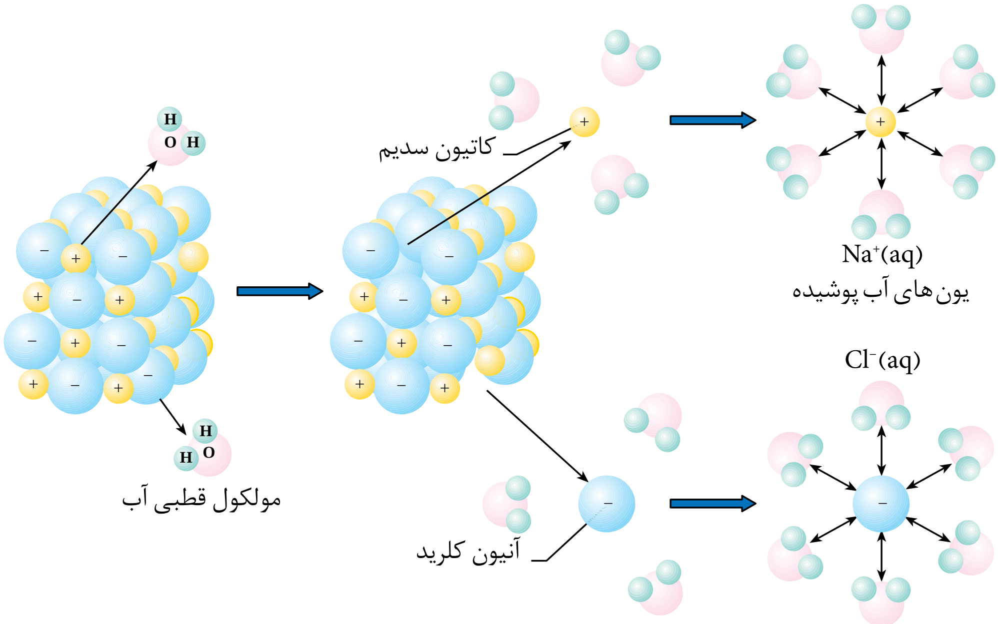
۲ـ تجربه نشان می‌دهد که انحلال شکر (ساکارز) به‌عنوان مثالی از ترکیب‌های مولکولی در آب، فرایندی گرماگیر است.

آ) این مشاهده را با توجه به آنتالپی مراحل سه‌گانهٔ یادشده، توجیه کنید.

ب) با توجه به گرماگیر بودن فرایند انحلال شکر در آب، چرا این فرایند به‌طور خودبه‌خودی روی می‌دهد؟

پ) انتظار دارید که در یک انحلال گرماگیر ($\Delta H_{\text{انحلال}} > ۰$) افزایش دما چه تأثیری بر انحلال‌پذیری حل‌شونده در آب داشته باشد؟ چرا؟

اکنون به فرایند انحلال یک ترکیب یونی مانند NaCl در آب توجه کنید، شکل ۵. این انحلال نیز شامل سه مرحله است.



شکل ۵ انحلال سدیم کلرید در آب) به تأثیر متقابل مولکول‌های آب با یون‌های سدیم و کلرید توجه کنید.

۱ـ فروپاشی شبکهٔ بلوری NaCl : این مرحله با صرف انرژی همراه است، بنابراین گرماگیر به‌شمار می‌آید.

$$NaCl(s) \longrightarrow Na^+(g) + Cl^-(g) \qquad \Delta H_۱ = +۷۸۶\ kJ.mol^{-۱}$$

۲ـ جدا شدن مولکول‌های آب از یکدیگر: این مرحله نیز گرماگیر است.

۳ـ برقراری جاذبهٔ قوی بین یون‌ها (Na^+،Cl^-) و مولکول‌های آب: این مرحله گرماده است و طی آن انرژی زیادی آزاد می‌شود.

مجموع مراحل ۲ و ۳ را **مرحلهٔ آب‌پوشی** می‌نامند. در این مرحله یون‌های Na^+ و Cl^- به‌وسیلهٔ مولکول‌های آب احاطه می‌شوند. مرحلهٔ آب‌پوشی در مجموع گرماده است. مقدار آنتالپی انحلال NaCl در آب، جمع جبری گرمای لازم برای فروپاشی شبکهٔ بلوری NaCl و گرمای آزاد شده در اثر آب‌پوشی یون‌های Na^+ و Cl^- است.

نمونهٔ حل شده

اگر انرژی لازم برای فروپاشی شبکهٔ بلوری NaCl (آنتالپی شبکه، $\Delta H_{\text{شبکه}}$)، ۷۸۶ کیلوژول بر مول و مجموع انرژی آزاد شده در آب‌پوشی (آنتالپی آب‌پوشی، $\Delta H_{\text{آب‌پوشی}}$) یون‌های Na^+ و Cl^-، ۷۸۳ کیلوژول بر مول باشد، آنتالپی انحلال NaCl را در آب محاسبه کنید.

در برخی منابع علمی انرژی شبکهٔ یک جامد یونی را انرژی تشکیل یک شبکهٔ بلوری از یون‌های سازندهٔ آن تعریف می‌کنند. با این تعریف مقدار انرژی شبکهٔ NaCl چه‌قدر است؟

پاسخ:

$\Delta H_{\text{شبکه}}$ = انرژی فروپاشی شبکه بلوری NaCl = +۷۸۶ $kJ.mol^{-1}$

$\Delta H_{\text{آب‌پوشی}}$ = مجموع انرژی آب‌پوشی یون‌های Na^+ و Cl^- = −۷۸۳ $kJ.mol^{-1}$

$\Delta H_{\text{انحلال}} = \Delta H_{\text{شبکه}} + \Delta H_{\text{آب‌پوشی}}$ = آنتالپی انحلال NaCl = +۳ $kJ.mol^{-1}$

آنتروپی و انحلال

همان‌طور که ملاحظه کردید، آنتالپی انحلال سدیم کلرید ۳ کیلوژول بر مول است. یعنی برای انحلال یک مول NaCl در آب ۳ کیلوژول گرما لازم است. با وجود گرماگیر بودن، انحلال NaCl در آب خودبه‌خودی انجام می‌شود؛ زیرا به‌جز آنتالپی باید به عامل دیگری در انحلال مواد توجه کرد.

تغییر آنتروپی بر فرایند انحلال بسیار مؤثر است. با به‌کارگیری قواعد زیر می‌توان میزان تأثیر این عامل را پیش‌بینی کرد:

آ) حل شدن جامد در مایع اغلب با افزایش آنتروپی همراه است. زیرا ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ یک جامد بلوری، آرایش بسیار منظمی دارند و در اثر حل شدن، ذره‌ها از این حالت بسیار منظم خارج شده، درون مایع پراکنده می‌شوند و ضمن جنبش دائمی آزادی عمل بیشتری پیدا می‌کنند.

ب) حل شدن مایع در مایع نیز با افزایش آنتروپی همراه است؛ زیرا دو مایع که در یکدیگر حل می‌شوند، حجم بیشتری نسبت به دو مایع جدا از یکدیگر پیدا می‌کنند. بنابراین، در این فضای بزرگ‌تر آزادی عمل و جنبش ذره‌های دو مایع در حالت محلول بیشتر می‌شود.

پ) حل شدن گاز در مایع با کاهش آنتروپی همراه است؛ زیرا بین ذره‌ها در حالت گازی نیروی جاذبهٔ ناچیزی وجود دارد و از این‌رو ذره‌ها آزادی عمل بیشتری دارند. هنگامی که گازی در یک حلال مایع حل می‌شود، نیروی جاذبهٔ بین ذره‌ای افزایش می‌یابد و آزادی عمل آنها کمتر می‌شود. به عبارتی این نیروهای جاذبه از تمایل آنها به بی‌نظمی می‌کاهند.

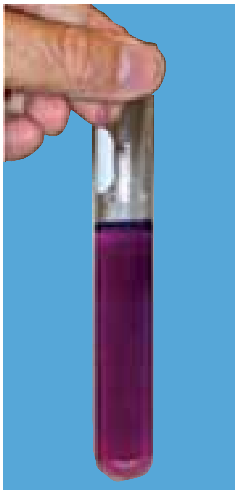
خود را بیازمایید

با بیان علت مشخص کنید که فرایند انحلال در کدام مورد با افزایش آنتروپی و در کدام مورد با کاهش آنتروپی همراه است؟

آ) اتانول در آب　　　ب) گاز آمونیاک در آب　　　پ) پتاسیم کلرید در آب

فکر کنید

۱ـ انحلال پتاسیم هیدروکسید و پتاسیم نیترات در آب به‌ترتیب گرماده و گرماگیر است. اگر هنگام این دو انحلال هیچ‌گونه مبادلهٔ انرژی با محیط پیرامون وجود نداشته باشد، دمای محلول آنها چه تغییری می‌کند؟ چرا؟



۲ـ شکل روبه‌رو محلول یُد در تولوئن را نشان می‌دهد. با این‌که در طی فرایند انحلال، دمای محلول تغییر محسوسی نمی‌کند، توضیح دهید چرا حل شدن یُد در تولوئن، خودبه‌خود انجام می‌شود؟

بیشتر بدانید

اغلب، ورزشکاران برای درمان آسیب‌دیدگی‌های خود از بسته‌هایی استفاده می‌کنند که گرما یا سرما را سریعاً انتقال می‌دهند. این بسته‌ها که از وسایل کمک‌های اولیه به‌شمار می‌آیند، طرز کارشان بر پایهٔ آنتالپی انحلال استوار است. این بسته‌ها از یک کیسهٔ پلاستیکی تشکیل شده‌اند که درون آن، یک بستهٔ کوچک آب و یک مادهٔ شیمیایی به صورت گرد وجود دارد. ضربه زدن به کیسهٔ پلاستیکی موجب می‌شود که بستهٔ کوچک آب پاره شده، مادهٔ شیمیایی در آن حل شود. اگر انحلال مادهٔ شیمیایی در آب گرماده باشد، دمای بسته افزایش و اگر این انحلال گرماگیر باشد، دمای بسته کاهش می‌یابد.



بسته‌های تولیدکنندهٔ سرما و گرما که در بازار به فروش می‌رسند. بستهٔ ایجاد کنندهٔ سرما دارای آمونیوم نیترات و آب و بستهٔ آزادکنندهٔ گرما دارای کلسیم کلرید و آب است.

معمولاً در بسته‌های تولیدکنندهٔ گرما از کلسیم کلرید و در بسته‌های تولیدکنندهٔ سرما از آمونیم نیترات استفاده می‌شود. فرایند انحلالی که در هر مورد رخ می‌دهد، عبارت است از:

$$CaCl_2(s) \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) \qquad \Delta H_{\text{انحلال}} = -83\ kJ$$

$$NH_4NO_3(s) \xrightarrow{H_2O} NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq) \qquad \Delta H_{\text{انحلال}} = +26\ kJ$$

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که افزودن ۴۰ گرم $CaCl_2$ (۰/۳۶ مول $CaCl_2$) به ۱۰۰ میلی‌لیتر

آب $20^\circ C$، دمای آب را تا $90^\circ C$ افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، هرگاه ۳۰ گرم NH_4NO_3 (۰/۳۸ مول NH_4NO_3) را به ۱۰۰میلی‌لیتر آب $20^\circ C$ بیفزاییم، دمای آب به $0^\circ C$ کاهش می‌یابد. بسته‌های تولیدکنندهٔ سرما یا گرما، در حدود ۲۰ دقیقه کار می‌کنند.

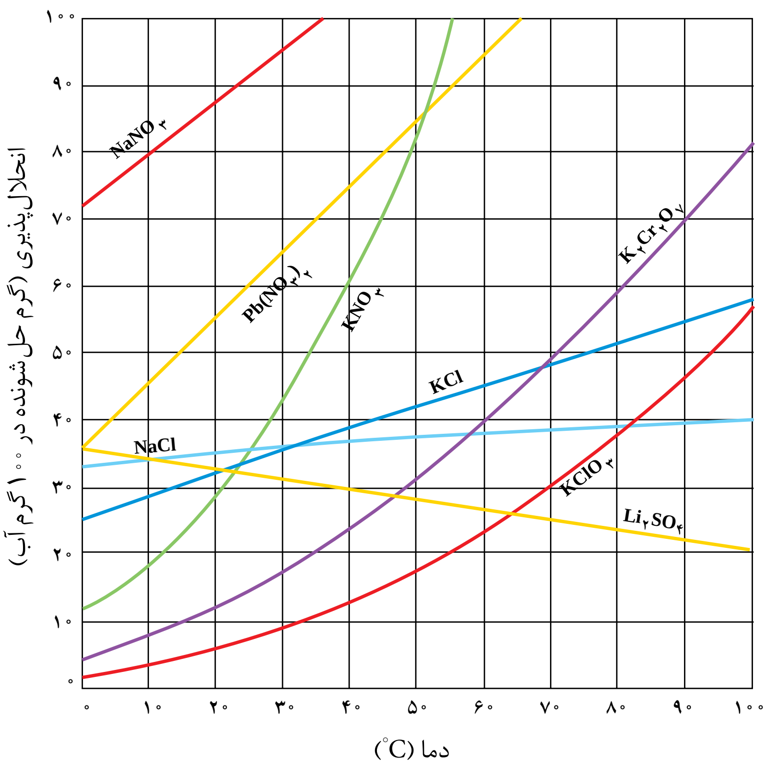
همچون دانشمندان

۱ـ شکل زیر نمودار انحلال‌پذیری چند ترکیب یونی را نشان می‌دهد. با دقت به این نمودار نگاه کنید و به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

آ) اگر بخواهید محلول‌های سیر شده‌ای از پتاسیم کلرید در دماهای $0^\circ C$، $40^\circ C$ و $80^\circ C$ تهیه کنید، در هر مورد چند گرم KCl را باید در ۱۰۰ گرم آب حل کنید؟

ب) جدول زیر را کامل کنید. تأثیر دما بر انحلال‌پذیری KNO_3 و KCl را با هم مقایسه کنید.

مادهٔ حل‌شونده	انحلال‌پذیری در آب $0^\circ C$	$30^\circ C$	$50^\circ C$
KNO_3			
KCl			



نمودار انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های یونی در آب



سنگ کلیه به دلیل ایجاد محلول سیر شده از برخی نمک‌های کلسیم دار در کلیه به وجود می‌آید.
پزشکان برای پیشگیری از این عارضه نوشیدن ۶ تا ۸ لیوان آب را در روز توصیه می‌کنند.

پ) محلول سیر شده‌ای از پتاسیم کلرات ($KClO_3$) در دمای $80^{\circ}C$ در اختیار دارید. اگر این محلول تا دمای $0^{\circ}C$ سرد شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا در $0^{\circ}C$ نیز محلول سیر شده است؟

۲ـ منحنی انحلال‌پذیری $AgNO_3$ را با توجه به داده‌های جدول روبه‌رو روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید (گرم $AgNO_3$ در ۱۰۰ گرم آب را روی محور عمودی و دما را روی محور افقی قرار دهید).

مقدار $AgNO_3$ ($g/100gH_2O$)	دما ($^{\circ}C$)
۱۲۲	۰
۲۱۶	۲۰
۳۱۱	۴۰
۴۴۰	۶۰
۵۸۵	۸۰

آ) انحلال‌پذیری $AgNO_3$ را در $30^{\circ}C$ روی نمودار نشان دهید.

ب) در چه دمایی انحلال‌پذیری $AgNO_3$، ۲۷۵ گرم در ۱۰۰ گرم آب است؟

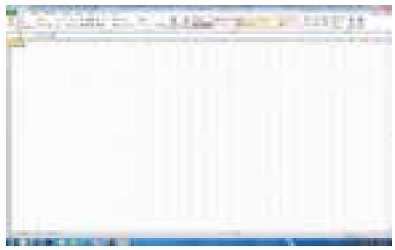
پ) انحلال‌پذیری $AgNO_3$ در آب گرماده یا گرماگیر است؟ چرا؟

ت) اگر در دمای $10^{\circ}C$ مقدار ۹۸/۵ گرم $AgNO_3$ به ۱۰۰ گرم آب افزوده شود، محلول حاصل سیر شده یا سیر نشده است؟

انحلال‌پذیری گازها در آب

می‌دانید که گازها در مایع‌ها حل شده، محلول ایجاد می‌کنند. در این میان، شناخت ویژگی‌های محلول آبی گازهای مختلف و اثر عواملی مانند نوع گاز، دما و فشار بر انحلال‌پذیری گازها در آب از اهمیت زیادی برخوردار است.

اِکسِل (Excell) نرم‌افزاری است که با استفاده از آن می‌توان انواع نمودارها را رسم کرد. شما هم می‌توانید برای رسم نمودار انحلال‌پذیری مواد آن را به کار ببرید.



همچون دانشمندان

۱ـ با استفاده از داده‌های جدول زیر، روی یک کاغذ میلی‌متری نمودار انحلال‌پذیری (گرم حل‌شونده در ۱۰۰g آب) سه گاز یادشده را در برابر دما ($^{\circ}C$) رسم کنید. سپس به پرسش‌های مطرح‌شده پاسخ دهید.

انحلال‌پذیری سه گاز در دماهای مختلف برحسب gH_2O g/۱ در فشار ۱atm

گاز \ دما ($^{\circ}C$)	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
CO_2	/۱۶۹	/۱۲۶	/ ۹۷	/ ۷۶	/ ۵۸
H_2S	/۳۸	/۳	/۲۴	/۱۹	/۱۵
Cl_2	/۷۳	/۵۷	/۴۶	/۳۹	/۳۳

آ) انحلال‌پذیری هر سه گاز را در $45^{\circ}C$ تخمین بزنید.

ب) در چه دمایی انحلال‌پذیری گاز کلر، ۰/۵۰g در ۱۰۰g آب است؟

پ) محلولی که شامل ۰/۱۰۰g کربن دی‌اکسید در ۱۰۰g آب است، در $35^{\circ}C$ چه حالتی؛ سیر شده، سیرنشده یا فراسیر شده دارد؟

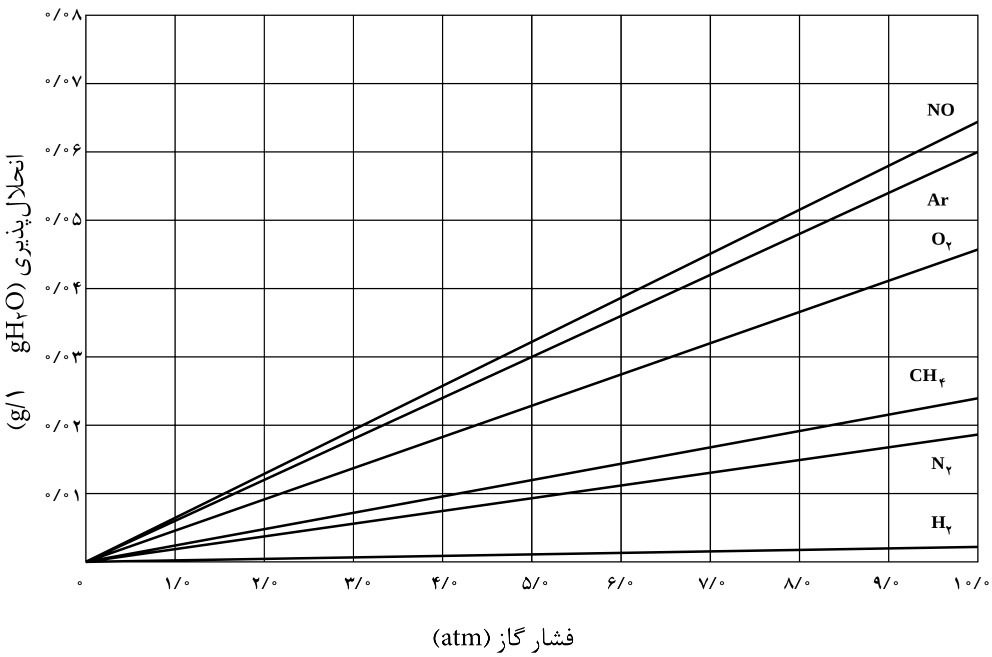
ت) انحلال‌پذیری گاز هیدروژن سولفید را در $70^\circ C$ پیش‌بینی کنید.

ث) از این نمودارها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۲ـ انحلال‌پذیری چند گاز در آب در فشار ۱atm و دمای $25^\circ C$ در جدول زیر داده شده است. از این داده‌ها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ تفاوت‌های مشاهده‌شده را توجیه کنید.

گاز	N_2	O_2	CO_2	NH_3	HCl
انحلال‌پذیری $(g/100\, gH_2O)$	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۹	۰/۱۴۵	۴۷/۰	۶۹/۵

۳ـ نمودار زیر تأثیر فشار گاز بر انحلال‌پذیری آنها را در آب $20^\circ C$ نشان می‌دهد. ویلیام هنری در سال ۱۸۰۳ از تفسیر چنین داده‌هایی به یک نتیجه‌گیری مهم دربارهٔ انحلال‌پذیری گازها در آب دست یافت. این نتیجه‌گیری را که **قانون هنری** گفته می‌شود، در یک سطر بیان کنید.



هنگامی که یک غوّاص در عمق آب از هوای فشردهٔ درون کپسول تنفس می‌کند، به دلیل فشار زیاد، غلظت گاز نیتروژن به میزان قابل توجهی در خون او بالا می‌رود. در این شرایط اگر غواص سریع به سطح آب بیاید، نیتروژن حل شده در خون او آزاد می‌شود. درنتیجه، حباب‌هایی در خون او تشکیل می‌شود که مانع از رسیدن اکسیژن به مغز می‌شود. این پدیده باعث ایجاد یک عارضهٔ دردناک و گاهی کشنده می‌شود. امروزه در غواصی از کپسول محتوی اکسیژن و هلیم استفاده می‌شود.



غلظت محلول و روش‌های بیان آن

بیشتر واکنش‌های شیمیایی مانند واکنش‌های زیست‌شیمیایی که در بدن موجودات زنده رخ می‌دهند، در فاز محلول انجام می‌شوند. در آزمایشگاه و طبیعت نیز، واکنش‌دهنده‌ها را در فاز محلول با یکدیگر وارد واکنش می‌کنند.

از این‌رو محلول‌ها در زندگی ما نقش مهمی دارند. در این میان، واکنش‌هایی که در

آب دریا منبع مهمی برای تهیهٔ بسیاری از مواد شیمیایی است. برای نمونه، از هر تن آب دریا، می‌توان تقریباً یک کیلوگرم فلز منیزیم تهیه کرد.

فاز محلول آبی انجام می‌شوند، از اهمیت بیشتری برخوردارند. برای بررسی کمّی چنین واکنش‌هایی، دانستن غلظت محلول ضروری است.

غلظت یک محلول، مقدار حل‌شونده را در مقدار معینی از محلول یا حلال نشان می‌دهد. غلظت محلول‌ها را به روش‌های گوناگون بیان می‌کنند. در اینجا با برخی از آنها آشنا می‌شوید.

درصد جرمی: آیا تا به حال به برچسب محلول شست‌وشوی دهان توجه کرده‌اید؟ روی ظرف دارای این محلول این عبارت نوشته شده است: «محلول استریل سدیم کلرید ۰/۹درصد برای شست‌وشو، غیرقابل تزریق»، شکل ۶.



شکل ۶ محلول سدیم کلرید ٪ ۰/۹ w/w

درصد جرمی را با نماد w/w نشان می‌دهند.

عبارت «سدیم کلرید ۰/۹ درصد» نوعی بیان غلظت برای این محلول است؛ یعنی در هر ۱۰۰ گرم از این محلول ۰/۹ گرم سدیم کلرید وجود دارد و بقیهٔ آن آب است. این نوع بیان غلظت را **درصد جرمی** می‌نامند. درصد جرمی با رابطهٔ زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times ۱۰۰$$

توجه کنید که در صورت و مخرج باید از یک نوع یکای جرم استفاده شود؛ یعنی هر دو کمیت باید برحسب میلی‌گرم، گرم یا کیلوگرم بیان شوند.

نمونهٔ حل شده

۱/۷ گرم سدیم کلرید در ۶/۸ گرم آب حل شده است. درصد جرمی NaCl را در این محلول محاسبه کنید.

پاسخ:

آ) فهرست داده‌ها

جرم حل‌شونده = ۱/۷ g NaCl

جرم حلال =۶/۸ g H_2O

جرم محلول = ? g NaCl محلول

ب) محاسبهٔ جرم محلول

جرم محلول = جرم حلال + جرم حل‌شونده = ۶/۸ g + ۱/۷ g = ۸/۵ g

پ) محاسبهٔ درصد جرمی

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد جرمی} = \frac{۱/۷\ g\ NaCl}{۸/۵\ g\ NaCl\ \text{محلول}} \times ۱۰۰ = ٪۲۰$$

خود را بیازمایید

۱ـ $1/5\ g$ سدیم هیدروکسید NaOH در $43/5\ g$ آب حل شده است. درصد جرمی NaOH را در این محلول حساب کنید.

۲ـ محلول ۵٪ جرمی سدیم نیترات تهیه شده است. در $40\ g$ از این محلول چند گرم $NaNO_3$ وجود دارد؟

قسمت در میلیون (ppm):



نمایشگر آلاینده‌های هوا.
در این نمایشگر غلظت اغلب آلاینده‌ها با ppm نمایش داده می‌شود.

برای محلول‌های بسیار رقیق، جرم حل‌شونده، آنقدر کم است که معمولاً غلظت محلول آن به جای درصد، برحسب قسمت در میلیون (ppm) بیان می‌شود.

$$ppm = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^{6}$$

توجه کنید که در صورت و مخرج این رابطه باید از یک نوع یکای اندازه‌گیری جرم (گرم یا کیلوگرم) استفاده کرد.

از ppm برای بیان مقادیر بسیار کم کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب دریا، بدن جانداران، بافت‌های گیاهی و میزان آلاینده‌های هوا (ذره‌های معلق یا گازهای آلاینده) استفاده می‌شود. در جدول زیر مقدار برخی عنصرها در یک نمونه از آب دریا برحسب ppm بیان شده است.

یون	$Cl^-(aq)$	$Na^+(aq)$	$Ca^{2+}(aq)$	$K^+(aq)$
غلظت(ppm)	۱۹۰۰۰	۱۰۶۰۰	۴۰۰	۳۸۰

فکر کنید

برای محلول‌های بسیار رقیق از یک حل‌شونده در آب، می‌توان ppm را به‌صورت میلی‌گرم حل‌شوندهٔ موجود در یک لیتر محلول تعریف کرد؛ چرا؟

غلظت مولی (مولار): رایج‌ترین شیوه برای بیان غلظت یک محلول است. غلظت مولار، تعداد مول‌های حل شونده در یک لیتر از محلول را نشان می‌دهد و با یکای $mol.L^{-1}$ بیان می‌شود.

برای نمونه، محلولی که دارای ۲/۰۰ مول NaCl در ۱۰/۰ لیتر محلول است،

غلظتی برابر با $mol.L^{-1}$ یا $\frac{2/0\ \text{molNaCl}}{10/0\ \text{L محلول}} = 0/200 \frac{mol}{L}$ دارد.



دستگاه اندازه‌گیری قند خون؛ این دستگاه تعداد میلی‌گرم‌های گلوکز را در ۱ mL از خون نشان می‌دهد. غلظت گلوکز در این نمونه از خون چند مولار است؟

نمونهٔ حل شده

برای تهیهٔ ۲/۰۰ لیتر محلول سدیم کلرید ۰/۱۰ مول در لیتر چند گرم سدیم کلرید خالص نیاز است؟

پاسخ:

$$\text{جرم NaCl} = \frac{\text{۰/۱۰ mol NaCl}}{\text{۱ L محلول NaCl}} \times \text{۲/۰۰ L محلول NaCl}$$

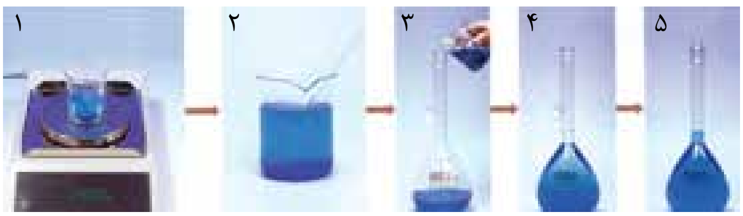
$$\times \frac{\text{۵۸/۴۴ g NaCl}}{\text{۱mol NaCl}} = \text{۱۱/۷ g NaCl}$$

آزمایش کنید

۱ـ تصویرهای زیر مراحل تهیهٔ محلولی از یک مادهٔ جامد را با غلظت مولی مشخص در آزمایشگاه نشان می‌دهد. در هر مورد بر مبنای دستور کار معرفی شده و با محاسبهٔ مقدار حل‌شوندهٔ مورد نیاز، محلول‌های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.

آ) ۱۰۰ mL محلول سدیم کلرید $\text{۲ mol.L}^{-۱}$

ب) ۲۵۰ mL محلول مس (II) سولفات $\text{۰/۵ mol.L}^{-۱}$



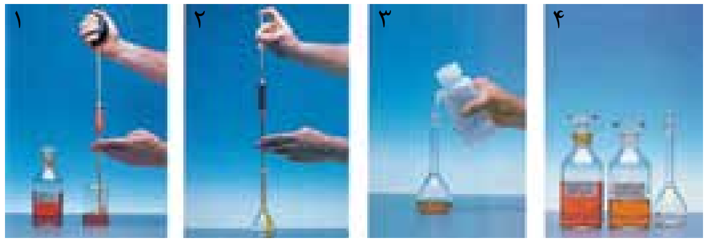
مراحل تهیهٔ محلولی با غلظت معین.
۱ـ اندازه‌گیری جرم حل‌شونده
۲ـ حل کردن حل شونده در آب
۳ ـ انتقال محلول به درون بالون حجمی و افزایش آب به آن
۴ـ افزودن آب بیشتر و تکان دادن بالون به منظور همگن سازی محلول
۵ ـ افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم‌رساندن)

۲ـ برای تهیهٔ محلول‌های رقیق می‌توان از رقیق کردن محلول‌های غلیظ‌تر استفاده کرد.

با دقت به تصویرهای صفحهٔ بعد نگاه کنید. در هر مورد بر مبنای دستور کار معرفی شده و با محاسبهٔ حجم مورد نیاز از محلول غلیظ داده شده، محلول‌های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.

آ) ۲۵۰ mL محلول ۰/۰۴ $mol.L^{-1}$ پتاسیم دی کرومات از محلول ۰/۲ $mol.L^{-1}$ آن

ب) ۱۰۰ mL محلول ۰/۱ $mol.L^{-1}$ سدیم کلرید از محلول ۲/۰ $mol.L^{-1}$ آن



تهیهٔ محلولی با غلظت معین به روش رقیق کردن حجم معینی از یک محلول غلیظ

۱ـ برداشتن حجم معینی از محلول غلیظ
۲ـ انتقال آن حجم به درون یک بالون حجمی
۳ـ افزودن آب و تکان دادن بالون به منظور همگن‌سازی محلول
۴ـ افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم رساندن)
۵ـ انتقال محلول تهیه شده به ظرف مناسب برای نگهداری.



رقیق کردن شربت پرتقال. اگر یک قوطی شربت پرتقال غلیظ را با سه قوطی آب مخلوط کنیم و خوب هم بزنیم، ۴ قوطی شربت پرتقال رقیق به‌دست می‌آید.

محاسبه‌های استوکیومتری برای واکنش‌ها در فاز محلول

وقتی حجم‌های مشخصی از محلول‌های دو واکنش دهنده با غلظت معین به‌هم اضافه می شود، تعداد مولِ مشخصی از هریک از آنها در مجاورت هم قرار می گیرد. برای محاسبهٔ تعداد مول هر واکنش‌دهنده می‌توان حجم محلول (برحسب لیتر) را در غلظت آن (برحسب مول در لیتر) ضرب کرد. به عبارت دیگر با استفاده از رابطهٔ حجم ـ غلظت، تعداد مولِ واکنش‌دهنده‌ها محاسبه می‌شود و با استفاده از نسبت‌های مولی به‌دست آمده از معادلهٔ موازنه شدهٔ واکنش، تعداد مولِ فراورده(ها) محاسبه می‌شود.

نمونهٔ حل شده

نقره برمید یکی از ترکیب‌های به کار رفته در ساخت فیلم‌های عکاسی است. این ترکیب شیمیایی را می‌توان از واکنش محلول‌های آبی نقره نیترات و سدیم برمید به‌دست آورد.

$$AgNO_3(aq) + NaBr(aq) \rightarrow AgBr(s) + NaNO_3(aq)$$

چند میلی لیتر محلول ۰/۱۲۵ $mol.L^{-1}$ NaBr برای واکنش با ۲۵/۰ mL از محلول ۰/۱۱۵ $mol.L^{-1}$ $AgNO_3$ لازم است؟

پاسخ:

$$\text{NaBr حجم محلول} = 25/0\,mL\ \cancel{AgNO_3}\ \text{محلول} \times \frac{0/115\,mol\ \cancel{AgNO_3}}{1\,L\ \cancel{AgNO_3}\ \text{محلول}}$$

$$\text{محلول}\ ۲۳/۰\ mL\ NaBr = \frac{۱L\ NaBr\ \text{محلول}}{۰/۱۲۵\ \cancel{mol\ NaBr}} \times \frac{۱\ \cancel{mol\ NaBr}}{۱\ \cancel{mol\ AgNO_۳}} \times$$

خود را بیازمایید

۱ـ چند میلی‌لیتر محلول $NaOH$ ‏۰/۱۲ $mol.L^{-۱}$ برای واکنش کامل با ۱۵/۰ mL از محلول $H_۲SO_۴$ ‏۰/۱۰ $mol.L^{-۱}$ طبق واکنش زیر لازم است؟

$$۲NaOH(aq) + H_۲SO_۴(aq) \rightarrow Na_۲SO_۴(aq) + ۲H_۲O(l)$$

۲ـ یکی از راه‌های کاهش غلظت اسید معده (HCl)، مصرف یک ضد اسید است. شیرِمنیزی متداول‌ترین ضد اسید است که منیزیم هیدروکسید سازندهٔ اصلی آن است. براساس واکنش زیر:

$$Mg(OH)_۲(s) + ۲HCl(aq) \rightarrow MgCl_۲(aq) + ۲H_۲O(l)$$

برای خنثی کردن ۳۶ mL از محلول HCl ‏۰/۳۲ $mol.L^{-۱}$ چند میلی‌لیتر محلول $Mg(OH)_۲$ ‏۰/۴۸ $mol.L^{-۱}$ نیاز است؟

۳ـ براساس واکنش زیر به چند میلی‌لیتر محلول HCl ‏۰/۱۲ $mol.L^{-۱}$ برای واکنش کامل با ۲۱/۰ mL از محلول $NaClO$ ‏۰/۱۸ $mol.L^{-۱}$ نیاز است؟

$$۲HCl(aq) + NaClO(aq) \rightarrow NaCl(aq) + Cl_۲(g) + H_۲O(l)$$



شیر منیزی

غلظت مولال: اگر یک مول پتاسیم کلرید (۷۴/۵۴ گرم KCl) را در یک کیلوگرم آب حل کنید، محلولی با غلظت ۱ مولال تهیه کرده‌اید. غلظت مولال، مولِ مادهٔ حل شده در یک کیلوگرم حلال (۱۰۰۰ گرم حلال) را بیان می‌کند. غلظت مولال در مطالعهٔ خواص کولیگاتیو محلول‌ها به کار می‌رود. با این خواص در ادامهٔ این بخش آشنا خواهید شد.

محلول هیدروکلریک اسید ($HCl(aq)$) جوهر نمک و محلول سفید کننده ($NaClO(aq)$) یا برای از بین بردن جرم و تمیز کردن سطوح در حمام و آشپزخانه به‌کار برده می‌شوند. توجه به این نکته ضروری است که هیچ گاه نباید آنها را با هم مخلوط کنید، بلکه باید هر یک از این مواد را جداگانه استفاده کنید؛ زیرا مخلوط کردن این دو منجر به تولید گاز کلر می‌شود. کلر گازی بسیار سمی است که تنفس آن موجب اختلال در مجاری تنفسی و حتی مرگ می‌شود.
هنگام استفاده از سفیدکننده‌ها حتماً در و پنجره‌ها را باز کنید.

محلول‌های الکترولیت و غیر الکترولیت

محلول‌های آبی دارای یون، جریان برق را از خود عبور می‌دهند. آب خالص به مقدار بسیار کم یونیده می‌شود و رسانایی الکتریکی ضعیفی دارد. رسانایی الکتریکی محلول ترکیب‌هایی مانند $NaCl$، HCl، $NH_۳$ و HF از آب خالص بیشتر است. این مواد را **الکترولیت** و محلول آبی آنها را **محلول الکترولیت** می‌نامند.

یک مادهٔ الکترولیت به طور کامل یا به مقدار کم در آب یونیده می‌شود. اغلب محلول‌هایی که از حل کردن ترکیب‌های یونی یا ترکیب‌های مولکولی قطبی در آب به‌دست می‌آیند، الکترولیت هستند.

فکر کنید

در شکل زیر رسانایی الکتریکی چند محلول آبی با هم مقایسه شده است. کدام یک از این محلول‌ها الکترولیت و کدام یک غیرالکترولیت است؟ علت تفاوت در رسانایی الکتریکی محلول‌های الکترولیت را شرح دهید.



(آ) (ب) (پ)

میزان رسانایی الکتریکی چند محلول

آ) محلول شکر (ساکاروز) در آب ب) محلول $CuSO_4$ در آب پ) محلول آمونیاک در آب

محلول‌های آبی موادی مانند اتانول و استون رسانای جریان برق نیستند. این مواد **غیرالکترولیت** و محلول حاصل را **محلول غیرالکترولیت** می‌نامند. مواد غیرالکترولیت در محلول به صورت مولکولی حل می‌شوند و در اثر انحلال، یون ایجاد نمی‌کنند.

الکترولیت‌ها از نظر میزان رسانایی الکتریکی به دو دستهٔ قوی و ضعیف تقسیم می‌شوند. به الکترولیت‌هایی مانند NaCl (یک ترکیب یونی) و HCl (یک ترکیب مولکولی) که هنگام انحلال در آب به‌ترتیب به‌طور کامل تفکیک و یونیده می‌شوند، **الکترولیت قوی** می‌گویند.

$$NaCl(s) \xrightarrow{\text{آب}} Na^+(aq)+Cl^-(aq)$$

$$HCl(g) \xrightarrow{\text{آب}} H^+(aq)+Cl^-(aq)$$

الکترولیت‌هایی مانند HF و NH_3 هنگام انحلال در آب به طور عمده به صورت مولکولی حل شده و تعداد کمی از آنها یونیده می‌شود. تعدادِ یون در محلول این الکترولیت‌ها کم است. چنین محلول‌هایی **الکترولیت ضعیف** نامیده می‌شوند. برای نمونه در محلول ۰/۱ مولار HF، از هر ۱۰۰۰ مولکول تقریباً ۸۰ مولکول آن یونیده می‌شود و بقیهٔ آن یعنی ۹۲۰ مولکول HF به صورت یونیده نشده در محلول باقی می‌ماند.

خود را بیازمایید

۱ـ معادلهٔ تفکیک یونی هر یک از ترکیب‌های یونی زیر را در آب بنویسید.

آ) KBr ب) $(NH_4)_2S$ پ) Na_2CO_3 ت) $Cr(NO_3)_3$

۲ـ در میان ترکیب‌های زیر الکترولیت‌ها را مشخص کنید. از میان این الکترولیت‌ها، محلول یک مولار کدام‌یک، رسانای الکتریکی قوی‌تری است؟ چرا؟

آ) متانول ب) سدیم نیترات پ) باریم کلرید ت) آمونیاک

خواص کولیگاتیو محلول‌ها

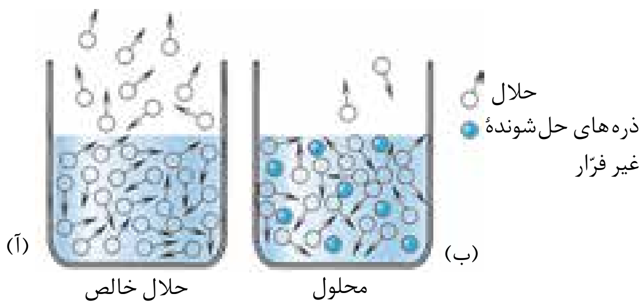
حل‌شوندهٔ غیرفرّار به ماده‌ای گفته می‌شود که در دمای اتاق فشاربخار بسیار ناچیزی داشته باشد. این گونه مواد می‌توانند جامد مانند انواع نمک‌ها یا مایع‌هایی با نقطه جوش بالا باشند.

تجربه نشان می‌دهد که برای یک محلول شامل حلال و یک حل‌شوندهٔ غیر فرّار نقطهٔ‌جوش، نقطهٔ انجماد و فشار بخار برای حلال در حالت محلول و حلال خالص تفاوت می کند. این خواص که به تعداد ذره‌های حل‌شوندهٔ غیر فرّار موجود در محلول (نه به نوع و خواص شیمیایی ذره‌ها) بستگی دارند، **خواص کولیگاتیو** نامیده می‌شود.

فشار بخار

مایع فرّار به مایعی گفته می‌شود که نقطهٔ جوش آن کمتر از $100\,^{\circ}C$ باشد.

اگر در یک بشر مقداری آب بریزید و آن را برای مدتی روی میز قرار دهید، مشاهده خواهید کرد که آب به تدریج تبخیر شده، سطح آب درون بشر پایین می‌آید. مایع‌ها در هر دمایی تبخیر می‌شوند. سرعت تبخیر سطحی هر مایع به تعداد مولکول‌های موجود در سطح مایع بستگی دارد. هرچه تعداد این مولکول‌ها بیشتر باشد، سرعت تبخیر مایع بیشتر خواهد بود. اکنون با دقت به شکل ۷ نگاه کنید. به نظر شما در کدام ظرف سرعت تبخیر سطحی بیشتر است؟ چرا؟



شکل ۷ تبخیر مولکول‌های مایع

آ) حلال خالص ب) محلول دارای مادهٔ حل‌شوندهٔ غیرفرّار

مولکول‌های گریخته از سطح مایع با دیوارهٔ داخلی بشر، مولکول‌های هوا و سطح مایع برخورد می کند و به این ترتیب بخار ایجاد شده فشاری به اطراف خود وارد می کند.

در دمای معین این فشار مقداری ثابت است و به آن **فشار بخار** مایع گفته می‌شود. با توجه به شکل ۷ آیا می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ثابت، حل شدن یک حل‌شوندهٔ غیرفرّار در یک مایع باعث کاهش فشار بخار محلول در مقایسه با مایع (حلال) خالص می‌شود؟ به‌نظر شما غلظت حل شونده چه تأثیری بر این فشار خواهد داشت؟

نقطهٔ جوش محلول‌ها

اندازه‌گیری نقطهٔ‌جوش محلول‌ها و مقایسهٔ آن با نقطهٔ جوش حلال خالص نشان می‌دهد که برای مثال نقطهٔ‌جوش محلول شکر در آب یا محلول آب نمک بیشتر از آب خالص است. اما چرا؟ برای پاسخ به این پرسش، باید بدانید جوشیدن چه موقع روی می‌دهد. جوشیدن زمانی رخ می‌دهد که فشار بخار مایع با فشار هوا روی سطح مایع (فشار محیط) برابر شود. آب خالص در فشار ۱ اتمسفر در $100^{\circ}C$ به جوش می‌آید. در واقع در این دما فشار بخار آب به ۱ atm می‌رسد. این در حالی است که، فشار بخار محلول شکر در آب کمتر از آب خالص است. از این‌رو برای رساندن فشار بخار این محلول به فشار ۱ atm، باید مولکول‌های آب از قسمت‌های زیرین محلول به سطح بیایند و سپس به مولکول‌های روی سطح محلول بپیوندند. چون این مولکول‌ها درون محلول از هر سو توسط مولکول‌های دیگر جذب می‌شوند، تحرک کمتری دارند و از این رو از انرژی کمتری نیز برخوردارند. در نتیجه برای تبخیر آنها به انرژی بیشتری نیاز است. این موضوع سبب می‌شود که نقطهٔ جوش محلول نسبت به حلال خالص افزایش یابد. به‌طور کلی نقطهٔ جوش هر محلولِ دارای مادهٔ حل شوندهٔ غیر فرار از حلال خالص آن بیشتر است.



اتیلن گلیکول، مایعی غیرفرّار است.

فکر کنید

۱ـ چرا در رادیاتور خودرو به جای آب خالص، استفاده از مخلوط آب و ضدیخ (اتیلن گلیکول) توصیه می‌شود؟

۲ـ نقطهٔ جوش محلول‌ها برخلاف حلال خالص ثابت نیست و با گذشت زمان افزایش می‌یابد. چرا؟

نقطهٔ انجماد محلول‌ها

آب خالص در دمای $0^{\circ}C$ یخ می‌زند، در حالی‌که محلول آب نمک در مقایسه با آب خالص، نقطهٔ‌انجماد پایین‌تری دارد. از این خاصیت در زمستان به منظور سرعت بخشیدن به ذوب‌شدن یخ در پیاده‌روها و سطح پوشیده از برف جاده‌ها استفاده می‌شود، شکل ۸.



شکل ۸ استفاده از سدیم کلرید برای کاهش نقطهٔ‌ذوب یخ به منظور ذوب کردن یخِ سطح جاده‌ها

به‌طور کلی انجماد هر محلول آبی که دارای حل شوندهٔ غیرفرار است، در دمایی پایین‌تر از $0^{\circ}C$ رخ می‌دهد.

فکر کنید

۱ـ کدام ترتیب پیشنهادی برای آنتروپی آب، یخ و محلول نمک خوراکی در آب درست است؟ چرا؟

آ) $S_{محلول} > S_{یخ} > S_{آب}$　　　ب) $S_{آب} > S_{یخ} > S_{محلول}$

پ) $S_{یخ} > S_{آب} > S_{محلول}$　　　ت) $S_{یخ} > S_{محلول} > S_{آب}$

۲ـ فرایند انجماد آب خالص و یک محلول آبی را درنظر بگیرید. با قرار دادن علامت =، < یا > درون مربع رابطهٔ دو کمیت خواسته شده (تغییر آنتروپی فرایند) را مشخص کنید.

ΔS (آب → یخ)　　☐　　ΔS (محلول → یخ)

۳ـ به نظر شما کدام‌یک از دو مایع، آب خالص و محلول نمک در آب، با کاهش دما تمایل بیشتری برای منجمد شدن دارد؟ چرا؟

همچون دانشمندان

می‌دانید افزودن یک حل‌شوندهٔ غیر فرار به یک مایع موجب افزایش نقطهٔ جوش و کاهش نقطهٔ انجماد مایع یاد شده می‌شود. آیا میزان افزایش نقطهٔ جوش و کاهش نقطهٔ انجماد برای همهٔ محلول‌ها یکسان است؟

برای بررسی عوامل مؤثر در میزان افزایش نقطهٔ جوش و کاهش نقطهٔ انجماد یک محلول نسبت به حلال خالص آن، چند محلول آبی مطابق جدول زیر انتخاب و نقطهٔ جوش و نقطهٔ انجماد آنها اندازه‌گیری شده است (فشار محیط آزمایشگاه ۱atm بوده است).

مقایسهٔ نقطهٔ جوش و نقطهٔ انجماد چند محلول آبی

حل‌شونده	شکر	شکر	سدیم کلرید	کلسیم کلرید	پتاسیم نیترات
غلظت مولال محلول آبی	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
دمای شروع به جوش‌محلول، C	۱۰۰/۰۵	۱۰۰/۱	۱۰۰/۱	۱۰۰/۱۵	؟
دمای شروع به انجمادمحلول، C	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۳۷	−۰/۵۵	؟
تعداد مول ذره‌های حل‌شوندهٔ موجود					

محاسبه های کمی برای خواص کولیگاتیو فقط برای محلول های رقیق به کار می‌رود.

آ) ردیف آخر این جدول را کامل کنید.

ب) دو مقایسهٔ زیر را انجام دهید. از این مقایسه‌ها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۱. نقطهٔ جوش محلول ۰/۱ مولال و ۰/۲ مولال شکر

۲. نقطهٔ جوش محلول ۰/۱ مولال سدیم کلرید و محلول ۰/۲ مولال شکر

پ) آیا با این اطلاعات می‌توانید نقطهٔ جوش محلول یک مولال پتاسیم نیترات را پیش‌بینی کنید؟

ت) میزان کاهش نقطهٔ انجماد محلول‌های سدیم کلرید، کلسیم کلرید و محلول ۰/۱ مولال شکر نسبت به آب خالص چگونه است؟ از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

ث) آیا با اطلاعات به‌دست آمده می‌توانید نقطهٔ انجماد محلول ۰/۱ مولال پتاسیم نیترات را پیش‌بینی کنید؟

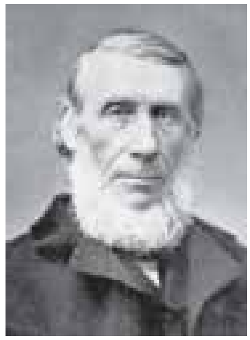
کلوییدها

در سال ۱۸۶۱ توماس گراهام واژه‌ای را معرفی کرد که امروزه از دید علمی و فناوری اهمیت زیادی یافته است. رنگ‌های پوششی، سرامیک‌ها، مواد آرایشی، پاک‌کننده‌ها، موادغذایی و بسیاری دیگر که زندگی روزانهٔ ما به شدت به وجود آنها وابسته شده است، اهمیت این واژه یعنی **کلویید** را پیوسته به ما یادآور می‌شود، شکل ۹.

کلویید از واژهٔ یونانی Kolla به معنای چسب گرفته شده است.



شکل ۹ نمونه‌هایی از کلویید؛ سُس مایونز، رنگ‌های پوششی، کف، سنگ پا، افشانه‌ها و چسب‌ها



جان تیندال
(۱۸۲ ـ ۱۸۹۳)
فیزیک‌دان بریتانیایی

کلوییدها که مخلوط هایی ناهمگن به شمار می آیند، برخلاف محلول ها که شفاف اند، ظاهری کدر یا مات دارند. ذره های تشکیل دهندهٔ آنها به اندازهٔ کافی درشت است که بتوانند نور مرئی را پخش کنند. به‌طوری که مسیر عبور نور از میان کلوییدها، قابل دیدن است، شکل ۱۰. آ) بی‌تردید این پدیده را که **اثر تیندال** گفته می‌شود، بارها در زندگی روزانه تجربه کرده‌اید، شکل ۱۰.ب.



(آ) (ب)

شکل ۱ اثر تیندال، آ) مقایسهٔ پخش نور در محلول و کلویید. ب) نمونه‌ای از مشاهدهٔ اثر تیندال در زندگی روزانه پرتوهای خورشید در هوای مه‌آلود یا آلوده به غبار

مانند محلول ها، ذره های سازندهٔ یک کلویید پس از مدتی ماندگاری ته‌نشین نمی شود. حتی با صافی نیز نمی‌توان آنها را جدا کرد. این ویژگی های ظاهری سبب می شود که بتوان کلویید را پلی میان محلول و سوسپانسیون درنظر گرفت، جدول ۲.

جدول ۲ مقایسهٔ برخی ویژگی های کلوییدها با محلول ها و سوسپانسیون ها

نوع مخلوط	حداقل اجزای تشکیل دهنده	تعداد فازها	ذره‌های سازنده	اندازهٔ ذره‌ها (nm)	نمونه
محلول	حلال و حل شونده	۱	یون ها یا مولکول ها	۱>	آب نمک { حلال: آب، حل شونده: نمک خوراکی }
کلویید	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	۲≤	مولکول های بزرگ یا توده‌های مولکولی*	۱۰۰-۱	شیر { فاز پخش کننده: آب، فاز پخش‌شونده: قطره‌های چربی }
سوسپانسیون	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	۲≤	توده‌های مولکولی بزرگ یا ذره‌های بسیار کوچک ماده	۱۰۰<	خاکشیر { فاز پخش کننده: آب، فاز پخش‌شونده: دانه‌های خاکشیر }

* ذره‌هایی که از گردهم‌آیی چند مولکول پدید می آیند.

همانند محلول‌ها، کلوییدها نیز به سه حالت جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند، جدول ۳.

جدول ۳ انواع گوناگون کلویید

فاز پخش شونده	فاز پخش کننده	نام	نمونه‌ها
گاز	مایع جامد	کف کف جامد	کف صابون سنگ پا، یونالیت
مایع	گاز مایع جامد	آیروسول مایع امولسیون ژل	مه شیر، کره، مایونز ژله، ژل موی سر
جامد	گاز مایع جامد	آیروسول جامد سول سول جامد	دود، غبار رنگ‌های روغنی سنگ‌های گران‌بهایی مانند یاقوت، لعل و فیروزه

آزمایش کنید

مایونز یک امولسیون خوراکی

اگر مخلوطی از روغن و سرکه را به هم بزنید، درخواهید یافت که نگه‌داشتن مخلوط این دو مایع در کنار هم، غیرممکن است. ما به این دو مایع، **مخلوط نشدنی** می‌گوییم. با توقف هم‌زدن، قطره‌های بسیار کوچک روغن به هم می‌پیوندند و بزرگ می‌شوند و سرانجام به شکل یک لایهٔ جداگانه درمی‌آیند. به هر حال، اگر شما مادهٔ سومی را به این دو مایع اضافه کنید که آنها را پس از به‌هم خوردن در کنار هم پایدار نگه دارد، می‌توانید از گردهمایی قطره‌های روغن جلوگیری کنید. مادهٔ سوم را یک **عامل امولسیون کننده** می‌نامند و مخلوط سه ماده یک **امولسیون** (**کلویید مایع در مایع**) نامیده می‌شود.

در مایونز، این سه ماده عبارت‌اند از: روغن مایع، سرکه و زردهٔ تخم مرغ که نقش عامل امولسیون کننده را دارد. در این آزمایش اثر زردهٔ تخم‌مرغ را در تهیهٔ مایونز بررسی می‌کنید.



مایونز

مواد و وسایل مورد نیاز: دو زردهٔ تخم‌مرغ، سرکه، نمک خوراکی، روغن مایع، فنجان کوچک، کاسهٔ کوچک، مخلوط کن دستی یا الکتریکی و ذره‌بین دستی.

روش کار

توجه: این فعالیت را می‌توان در کلاس درس یا خانه انجام داد.

۱ـ $10\ mL$ سرکه در یک فنجان کوچک بریزید.

۲ـ ۲۰ mL روغن به فنجان اضافه کنید.

۳ـ دو مایع درون فنجان را به‌منظور مخلوط کردن آنها به شدت به هم بزنید.

۴ـ پس از توقف به‌هم زدن، مشاهده خواهید کرد که دو مایع باز هم جدا از یکدیگر قرار می‌گیرند.

۵ـ یک زردهٔ تخم‌مرغ، مقداری نمک و ۱۰ mL سرکه، در یک کاسهٔ تمیز بریزید.

۶ـ مخلوط را تا هنگامی که چسبناک شود، هم بزنید.

۷ـ در مدت به‌هم زدن، محتویات فنجان را به آرامی به کاسه اضافه کنید.

۸ـ به‌هم‌زدن را ادامه دهید تا امولسیون پایدار شود.

۹ـ برای دیدن جزئیات بیشتر، از ذره‌بین دستی استفاده کنید.

آنچه که روی می‌دهد

لسیتین در زردهٔ تخم‌مرغ به عنوان عامل امولسیون کننده عمل می‌کند. مولکول‌های لسیتین لایه‌ای در اطراف قطره‌های روغن تشکیل می‌دهند که مانع از جمع‌شدن آنها و تشکیل قطره‌های بزرگ‌تر می‌شود. لسیتین و مولکول‌های امولسیون کنندهٔ دیگر، دارای نواحی **آب‌گریز** هستند که به روغن ـ که آن هم آب گریز است ـ می‌چسبند. سر دیگر یک مولکول امولسیون کننده، معمولاً **آب دوست** است و با آب برهم‌کنش می‌کند. به این ترتیب عامل امولسیون کننده پلی بین مولکول‌های آب و روغن تشکیل می‌دهد.

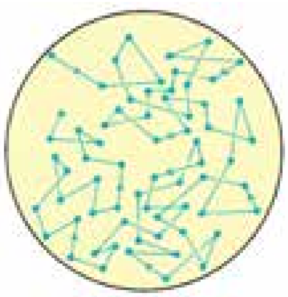
ویژگی‌های دیگر کلویید

ذره‌های کلویید پیوسته در جنب‌وجوش‌اند

اگر یک قطره شیر را با میکروسکوپ نوری به دقت نگاه کنید، ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ آن را در حال جنب‌وجوش دائمی می‌بینید. ذره‌های کلوییدی هنگامی که به هم می‌رسند، در برخورد با یکدیگر تغییر جهت می‌دهند. به این حرکت دائمی و نامنظم ذره‌های کلوییدی **حرکت براونی** می‌گویند، شکل ۱۱.



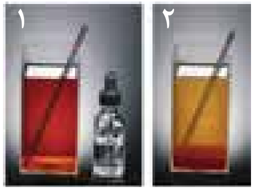
رابرت براون
(۱۸۲۷-۱۷۷۳)
گیاه پزشک انگلیسی



شکل ۱۱ حرکت براونی ذره‌های کلوییدی. به‌نظر شما عامل ایجاد این حرکت چیست؟

ذره‌های کلوییدی بار الکتریکی دارند!

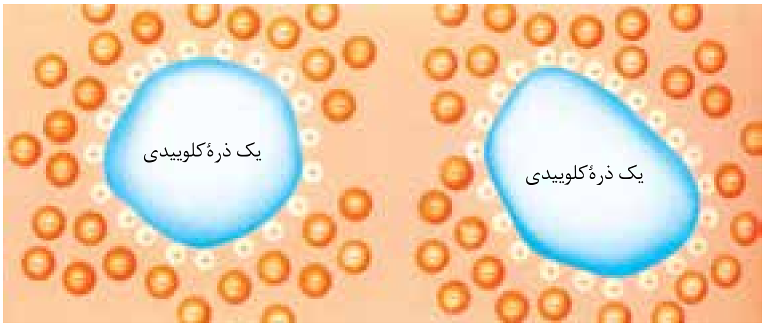
بررسی‌های تجربی نشان داده است که ذره‌های کلوییدی می‌توانند ذره‌های باردار مانند یون‌ها را در سطح خود جذب کنند و به نوعی بار الکتریکی دست یابند. این بار الکتریکی می‌تواند مثبت یا منفی باشد. پایداری کلوییدها (ته‌نشین نشدن فاز پخش شونده) را به‌وجود این بار الکتریکی نسبت می‌دهند.



لخته شدن کلوییدها
افزودن مقداری از یک محلول الکترولیت به کلوییدها سبب لخته شدن آنها می‌شود.

فکر کنید

با دقت به شکل زیر نگاه کنید و به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



۱ـ ذره‌های یک کلویید همگی بار الکتریکی هم‌نام دارند ولی مقدار بار الکتریکی آنها می‌تواند متفاوت باشد. چرا؟

۲ـ علت پایداری کلوییدها را توضیح دهید؟

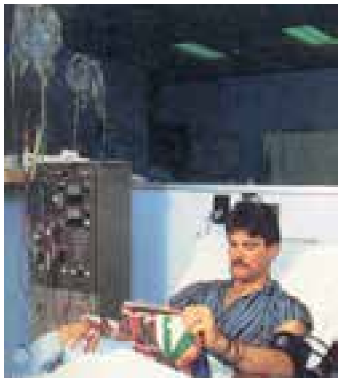
۳ـ با افزایش الکترولیت به یک کلویید، ذره‌های کلوییدی ته‌نشین می‌شوند، این فرایند را **لخته شدن** می‌گویند. این پدیده را توجیه کنید.

۴ـ شیر یک کلویید است. افزودن چه موادی به شیر سبب انعقاد آن می‌شود؟ چرا؟

بیشتر بدانید

مطالعۀ حرکت ذره‌های کلوییدی باردار در میدان الکتریکی زمینۀ خوبی برای پژوهش‌های زیست‌شناختی روی پروتئین‌هاست. الکتروفورز دستگاهی است که به این منظور به‌کار می‌رود. درواقع با این دستگاه می‌توان با تنظیم pH محیط پروتئین‌ها را جداسازی و خالص‌سازی کرده ، مورد مطالعه قرار داد.

یکی از راه‌های پایدار کردن کلوییدها کاهش غلظت یون‌های حاصل از الکترولیت‌ها در آنهاست. فرایند جداکردن یون‌ها از یک کلویید، دیالیز نام دارد. این کار معمولاً به کمک غشاهای مناسبی انجام می‌شود. امروزه از روش دیالیز به‌طور گسترده برای تصفیۀ خون افراد مبتلا به نارسایی کلیه استفاده می‌شود.

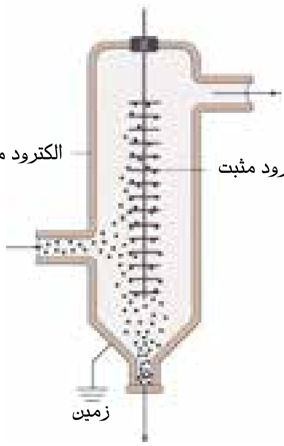


این بیمار درحال تصفیهٔخون خود با دستگاه دیالیز است.



دستگاه الکتروفورز

برخی آلاینده‌های محیط زیست از نوع ذره‌های کلوییدی هستند. برای پالایش هوای آلوده به این ذره‌ها از رسوب‌دهنده‌های کوترل استفاده می‌شود. در این دستگاه آلاینده‌هایی مانند دود و گردو غبار در یک میدان الکتریکی قوی قرار می‌گیرند و چون بار الکتریکی دارند، جذب صفحه‌های باردار این دستگاه می‌شوند. پس از خنثی‌شدن بار الکتریکی، این ذره‌ها به پایین سقوط می‌کنند.



رسوب‌دهندهٔ کوترل

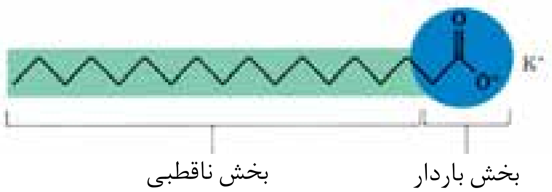
صابون و نقش امولسیون کنندگی آن

چرک لباس و پوست بدن بیشتر از جنس چربی است. چربی و آب در حالت عادی در یکدیگر حل نمی‌شوند. به همین دلیل آب نمی‌تواند همهٔ چرک‌ها را از تن یا لباس جدا کند. برای برداشتن بهتر چرک‌ها باید امولسیون پایداری از چرک‌ها در آب ایجاد کرد. این کار به کمک پاک‌کننده‌ها انجام می‌شود. صابون یکی از رایج‌ترین پاک‌کننده‌هاست. صابون

نمک سدیم، آمونیوم یا پتاسیم اسیدهای چرب محسوب می‌شوند. جزء آنیونی صابون دو بخش دارد، شکل ۱۲. یک بخش زنجیر هیدروکربنی، آب گریز است و سر ناقطبی صابون را تشکیل می‌دهد. این بخش مولکول در حلال‌های ناقطبی حل می‌شود. بخش دیگر صابون سرقطبی و آب دوست آن است. این بخش مولکول، در حلال‌های قطبی مانند آب حل می‌شود.

همان طوری که می دانید اسیدهای آلی گروه عاملی کربوکسیل ($-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$) دارند.

اسیدهای چرب دسته‌ای از اسیدهای آلی دراز زنجیر هستند که در روغن‌های گیاهی یا در چربی جانوران یافت می‌شوند. این ترکیب‌ها دارای یک زنجیر هیدروکربنی سیر شده یا سیر نشدهٔ بزرگ هستند که عموماً ۱۴ تا ۱۸ کربن دارند.

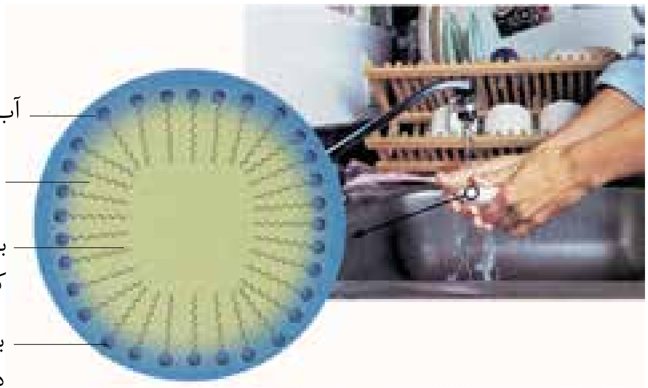


شکل ۱۲ ساختار مولکول‌های صابون

فکر کنید

با دقت به شکل زیر نگاه کنید. هنگامی که دست‌های خود را با صابون می‌شوییم در واقع یک امولسیون از قطره‌های روغن پخش‌شده در آب ایجاد می‌کنیم که این امولسیون به کمک صابون پایدار می‌شود. اگر این گفته را بپذیرید، تشکیل کف (کلویید گاز در مایع) هنگام شست‌وشوی دست با صابون را شرح دهید.

صابون جامد، نمکِ سدیم اسید چرب و صابونِ مایع، نمکِ پتاسیم یا آمونیوم اسید چرب است.



پاک کننده‌های غیرصابونی

در سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم شیمی پاک‌کننده‌های غیرصابونی به بازار عرضه شدند. در این پاک‌کننده‌ها به جای گروه کربوکسیلات ($-CO_2^-$) در صابون گروه‌های دیگری از جمله گروه سولفونات ($-SO_3^-$) قرار گرفته است. سدیم دو دسیل بنزن سولفونات نمونه‌ای از پاک‌کننده‌های غیرصابونی است، شکل ۱۳. در این پاک‌کننده‌ها چربی‌ها به

زنجیر آلکیل می‌چسبند و گروه سولفونات که انتهای باردار پاک کننده را تشکیل می‌دهد، سبب پخش شدن چربی‌ها در آب می‌شود.



شکل ۱۳ ساختار سدیم دو دسیل بنزن سولفونات بدون شاخهٔ فرعی

بیشتر بدانید

برتری پاک‌کننده‌های غیرصابونی

می‌دانید آب سخت غلظت بالایی از یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} دارد. وقتی صابون به این نوع آب وارد شود، یون‌های Mg^{2+} و Ca^{2+} جاذبهٔ قوی با جزءِ آنیونی صابون برقرار می‌کنند و به این ترتیب صابون نامحلولی تشکیل می‌دهند.

$$2R{-}COO^{-}Na^{+}(aq) + Mg^{2+}(aq) \rightarrow (R{-}COO)_2Mg(s) + 2Na^{+}(aq)$$

(صابون محلول در آب) (صابون نامحلول در آب)

در پاک‌کننده‌های غیرصابونی از گروه سولفونات SO_3^- ــ به جای گروه کربوکسیلات CO_2^- ــ صابون استفاده شده است. گروه سولفونات برخلاف گروه کربوکسیلات با یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} ترکیب‌هایی انحلال‌پذیر می‌دهد. به همین دلیل پاک‌کننده‌های غیرصابونی در آب سخت به‌خوبی کف می‌کنند.

بیشتر بدانید

شیمی تجزیه علم جمع‌آوری، پردازش و برقراری ارتباط میان داده‌های مربوط به ترکیب و ساختار ماده است. به بیان دیگر، شیمی تجزیه آمیزه‌ای از علم و هنر است که نوع و مقدار یک ماده را تعیین می‌کند.

کارشناس‌های شیمی تجزیه به کمک شگردهایی نظیر نمونه‌برداری، جداسازی، غلیظ سازی و...، به تجزیه و تحلیل کمّی و کیفی مواد می‌پردازند. آنها با استفاده از ابزار و وسایلی که در اختیار دارند و به کمک دانش شیمی، رایانه و آمار، مسائل گوناگونی را حل می‌کنند که به نوعی به علم شیمی مربوط‌اند. برای مثال، فعالیت این افراد در زمینهٔ تأیید سلامتی و کیفیت مواد غذایی، دارویی، بهداشتی و آب و فرایند تولید این مواد، کمک زیادی به تولیدکنندگان می‌کند. همچنین، آنها در تشخیص بیماری‌ها به پزشکان یاری می‌رسانند. کارشناس‌های شیمی تجزیه فرصت‌های شغلی مختلفی در زمینه‌های پژوهشی، صنعت، آموزش، مشاغل دولتی، بازرگانی و نیروی انتظامی دارند.

واژه‌نامه

واکنش شیمیایی	chemical reaction	۲	فرایندی است که طی آن یک یا چند مادهٔ شیمیایی بر هم اثر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای ایجاد می‌کنند.
معادلهٔ نوشتاری	word equation	۲	یک معادلهٔ شیمیایی که در آن نام واکنش‌دهنده(ها) و فراورده(ها) نوشته می‌شود.
معادلهٔ نمادی	symbol equation	۲	یک معادلهٔ شیمیایی که در آن فرمول شیمیایی واکنش‌دهنده(ها) و فراورده(ها) نوشته می‌شود.
معادلهٔ شیمیایی	chemical equation	۳	رابطه‌ای است که به کمک آن فرمول شیمیایی و نسبت واکنش‌دهنده(ها) و فراورده(ها) در یک واکنش شیمیایی نمایش داده می‌شود و مانند معادله‌های ریاضی از چپ به راست نوشته می‌شود.
واکنش‌دهنده	reactant	۲	مادهٔ آغازی یا اولیهٔ واکنش
فراورده	product	۲	محصول واکنش، مادهٔ پایانی یا نهایی واکنش
استوکیومتری	stoichiometry	۱۱	دانش مطالعهٔ روابط کمی در واکنش‌های شیمیایی
واکنش‌گر محدودکننده	limiting reactant	۲۸	واکنش‌دهنده‌ای که مقدار فراوردهٔ واکنش را تعیین می‌کند.
موازنه کردن	balancing	۳	برابر کردن تعداد اتم‌ها در دو سوی یک معادلهٔ شیمیایی
حالت فیزیکی	physical state	۲	یکی از حالت‌های جامد، مایع یا گاز که ماده مشاهده می‌شود.
روش وارسی	inspection method	۴	روشی برای موازنه کردن معادله‌های شیمیایی از طریق شمارش نوبتی اتم‌ها در دو سوی معادله
واکنش ترکیب (سنتز)	combination (synthesis) reaction	۷	واکنشی که در آن چند ماده با هم ترکیب شده فراوردهٔ تازه‌ای تولید می‌شود.
واکنش تجزیه	decomposition reaction	۷	واکنشی که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود.

واکنش سوختن	combustion	۶	به واکنشی که در آن یک ماده به سرعت با اکسیژن ترکیب می‌شود و طی آن مقداری انرژی به صورت نور و گرما آزاد می‌شود.
واکنش جابه‌جایی یگانه	single replacement reaction	۹	واکنشی کـه در آن یک عنصر جانشین عنصر یا یون مـوجـود در یک ترکیب می‌شود.
واکنش جابه‌جایی دوگانه	double replacement reaction	۱۰	واکنشی که در آن جای دو عنصر یا یون در دو ترکیب با یکدیگر عوض می‌شود.
واکنش اکسایش	oxidation reaetion	۶	به واکنش ترکیب‌شدن ماده با اکسیژن می‌گویند.
پلیمر شدن	polymerization	۷	مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و درشت مولکول‌هایی به نام پلیمر یا بسپار تولید می‌کنند.
پلی‌اتیلن	polyethylene	۷	ترکیبی که از اتصال تعداد زیادی مولکول اتیلن ایجاد شده باشد.
مول	mol	۱۲	به مجموعه‌ای از ذره‌ها که شامل $۶/۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}$ ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می‌شود.
کود شیمیایی	fertilizer	۱۷	ماده‌ای که برای افزایش میزان و بالا بردن کیفیت فراورده‌های کشاورزی به خاک افزوده می‌شود.
متیل سالیسیلات	methyl salicylate	۲۲	مایعی بی‌رنگ که از سالسیلیک اسید ساخته می‌شود و در داروهای مسکن به کار می‌رود.
قانون نسبت‌های ترکیبی(قانون گی‌لوساک)	Gay-Lussac's Law	۲۴	گازها با نسبت‌های سادهٔ حجمی با یکدیگر ترکیب می‌شوند.
قانون آووگادرو	Avogadro's Law	۲۵	حجم‌های مساوی از همهٔ گازها در شرایط یکسان دما و فشار، تعداد مولکول‌های مساوی دارند.
غلظت مولی	molar concentration	۸۹	به تعداد مول‌های حل شوندهٔ موجود در یک لیتر محلول، غلظت مولی آن ماده می‌گویند.
محلول	solution	۷۳	مخلوطی همگن که دارای یک فاز باشد.
رقیق کردن	dilution	۹۱	فرایند افزایش حلال به یک محلول به جهت کاهش غلظت آن
واکنش‌دهندهٔ اضافی	excess reactant	۲۹	واکنش‌دهنده‌ای است که پس از پایان واکنش هنوز مقداری از آن باقیمانده است.
مقدار نظری	theortical yield	۳۲	مقدار فراوردهٔ مورد انتظار که از محاسبات استوکیومتری به دست می‌آید.

مقدار عملی	actual yield	۳۲	مقدار فراورده ای که در عمل تولید می‌شود.
بازده درصدی	percent yield	۳۲	به نسبت مقدار عملی فراوردهٔ یک واکنش به مقدار نظری آن گفته می‌شود. این کمیت به صورت درصد بیان می‌شود.
واکنش تراکمی	condensation reaction	۳۴	تشکیل مولکول‌های بزرگ از انواع کوچک‌تر آنها از طریق حذف یک یا چند مولکول ساده
کیسهٔ هوا	air bag	۳۵	کیسه‌هایی که در جلوی برخی خودروها تعبیه شده است و در هنگام برخورد خودرو با مانع به سرعت از گاز پر می‌شود.
سوختن ناقص	incomplete combustion	۳۶	نوعی سوختن که در آن به جای کربن دی‌اکسید، کربن مونواکسید یا دوده تولید می‌شود.
گرماشیمی	thermochemistry	۳۹	شاخه‌ای از علم شیمی که به مطالعهٔ کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده در واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد.
گرما	heat	۴۰	انرژی‌ای که بر اثر اختلاف دما از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود.
حرکت چرخشی	rotational motion	۴۰	به حرکت ذره به دور خود حرکت چرخشی می گویند.
حرکت ارتعاشی	vibrational motion	۴۰	به حرکت رفت و برگشت بخش‌های مختلف یک مولکول یا یون نسبت به یکدیگر حرکت ارتعاشی می گویند.
ظرفیت گرمایی	heat capacity	۴۱	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای جسم به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس
ظرفیت گرمایی ویژه	specific heat capacity	۴۱	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک گرم ماده به اندازهٔ یک درجهٔ‌سلسیوس
ظرفیت گرمایی مولی	molar heat capacity	۴۲	مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازهٔ یک درجهٔ‌سلسیوس
سامانه یا سیستم	system	۴۴	بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می‌شود.
محیط	surroundings	۴۴	هر چیزی که در پیرامون سامانه باشد محیط نامیده می‌شود.
سامانه بسته	closed system	۴۵	سامانه‌ای که با محیط مبادلهٔ انرژی دارد ولی مبادلهٔ ماده ندارد.
سامانه باز	open system	۴۵	سامانه‌ای که هم انرژی و هم ماده با محیط مبادله می‌کند.
سامانه ایزوله	isolated system	۴۵	سامانه‌ای که انرژی و ماده با محیط مبادله نمی‌کند.
مرز سامانه	boundary system	۴۵	دیواره‌ای که سامانه را از محیط پیرامون آن جدا می‌کند.
خواص ترمودینامیکی	thermodynamical properties	۴۶	خواص قابل اندازه گیری که به کمک آنها می‌توان یک سامانه را توصیف کرد.
خواص مقداری	extensive properties	۴۶	خواصی که مقدار آنها به مقدار ماده وابسته است.
خواص شدنی	intensive poperties	۴۶	خواصی که مقدار آنها به مقدار ماده بستگی ندارد.

واژه	English	صفحه	تعریف
انرژی درونی	internal energy	۴۶	به مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همهٔ ذره‌های تشکیل‌دهنده یک سامانه گفته می‌شود.
قانون اول ترمودینامیک	first law thermodynamics	۴۸	طبق این قانون انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود بلکه از شکلی به شکل دیگر در می‌آید.
تابع حالت	state function	۴۸	تابعی که به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی وابسته است.
آنتالپی واکنش	enthalpy change	۵۰	به تغییر انرژی یک سامانه در فشار ثابت، آنتالپی واکنش گفته می‌شود.
حالت استاندارد ترمودینامیکی	standard state	۵۳	پایدارترین شکل مادهٔ خالص در فشار یک اتمسفر و دمای مشخص (معمولاً $25^\circ C$)
آنتالپی استاندارد تشکیل	standard molar enthalpy of formation	۵۴	به تغییرات آنتالپی در هنگام تشکیل یک مول ماده از عنصرهای سازندهٔ آن در حالت استاندارد گفته می‌شود.
ترمودینامیک	thermodynamics	۴۴	دانش مطالعهٔ تبدیل شکل‌های مختلف انرژی و راه‌های انتقال آن
آنتالپی استاندارد سوختن	standard molar enthalpy of combustion	۵۵	گرمای آزاد شده در هنگام سوختن یک مول از ماده در مقدار کافی اکسیژن
آنتالپی استاندارد تبخیر	standard molar enthalpy of vaporization	۵۶	گرمای مصرف شده در هنگام تبدیل یک مول مایع به بخار در دمای جوش آن ماده
آنتالپی استاندارد ذوب	standard molar enthalpy of fusion	۵۶	تغییر آنتالپی در هنگام تبدیل یک مول جامد به مایع در دمای ذوب آن جسم
آنتالپی استاندارد تصعید	standard molar enthalpy of sublimation	۵۷	تغییر آنتالپی در هنگام تصعید شدن یک مول ماده
میانگین آنتالپی پیوند	average bond energy	۵۷	مقدار انرژی مصرف شده در هنگام شکستن یک مول پیوند بین دو اتم و تبدیل آنها به اتم‌های جدا از یکدیگر
گرماسنجی	calorimetry	۵۸	روش‌های اندازه‌گیری گرمای آزادشده یا جذب‌شده در فرایندهای فیزیکی یا شیمیایی

گرماسنج لیوانی	coffee-cup calorimeter	۵۸	وسیله‌ای که از آن برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود.
گرماسنج بمبی	bomb calorimeter	۵۸	وسیله‌ای که از آن برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در حجم ثابت استفاده می‌شود.
قانون هس	Hess's law	۵۹	ΔH یک واکنش چندمرحله‌ای از جمع جبری مقادیر ΔH همهٔ واکنش‌های تشکیل‌دهندهٔ آن به‌دست می‌آید.
گاز آب	Water – gas	۶۲	به مخلوطی از گازهای $H_۲$ و CO گفته می‌شود.
فرایند گرماده	exothermic process	۵۱	فرایندی که در آن گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.
فرایند گرماگیر	endothermic process	۵۲	فرایندی که در آن گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌یابد.
آنتروپی	entropy	۶۴	معیاری برای بیان میزان بی‌نظمی یک سامانه است.
انرژی آزاد	free energy	۶۹	کمیتی ترمودینامیکی که آنتروپی و آنتالپی را به هم ربط می‌دهد.
انرژی آزاد گیبس	Gibbs free energy	۶۹	به مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند گفته می‌شود.
مخلوط همگن (محلول)	solution (homogeneous mixture)	۷۴	مخلوطی است که تنها یک فاز تشکیل می‌دهد.
مخلوط ناهمگن	heterogeneous mixture	۷۴	مخلوطی است که بیش از یک فاز داشته باشد.
فاز	phase	۷۵	بخشی از ماده که حالت فیزیکی و ترکیب شیمیایی در همهٔ نقاط آن یکسان است.
حلال	solvent	۷۵	جزئی که حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیشتری از محلول را تشکیل می‌دهد.
حل‌شونده	solute	۷۵	جزئی که در حلال حل می‌شود.
محلول آبی	aqueous solution	۷۶	محلولی که حلال آن آب است.
محلول غیر آبی	non-aqueous solution	۷۶	محلولی که حلال آن یک حلالی آلی است.
انحلال‌پذیری	solubility	۷۷	بیشترین مقدار ماده برحسب گرم که در دمای مشخص در ۱۰۰ گرم آب حل می‌شود.
آسکوربیک اسید	ascorbic acid	۸۰	ویتامین ث؛ جامد سفیدرنگ متبلوری که به‌خوبی در آب حل می‌شود.
آنتالپی انحلال	enthalpy solution	۸۱	تغییر آنتالپی مربوط به حل‌شدن یک مول حل‌شونده در مقدار زیادی حلال
آب‌پوشی	hydration	۸۲	احاطه‌شدن ذره‌ها توسط مولکول‌های آب را آب‌پوشی گویند.
مواد کم‌محلول	slightly soluble	۷۷	موادی که ۰/۰۱ تا ۱ گرم در ۱۰۰ گرم آب در دمای مشخص حل می‌شود.

مواد نامحلول	insoluble	۷۷	موادی که کمتر از ۰/۰۱ گرم در ۱۰۰ گرم آب در دمای مشخص حل می‌شود.
قانون هنری	Henry’s law	۸۷	انحلال‌پذیری گازها با فشار گاز رابطهٔ مستقیم دارد.
درصد جرمی	weight(mass)percent	۸۸	به جرم مادهٔحل‌شده در ۱۰۰ گرم محلول گفته می‌شود.
غلظت مولال	molality	۹۲	تعداد مولکول گرم‌های مادهٔحل‌شده در ۱۰۰۰ گرم حلال
الکترولیت	electrolyte	۹۲	مادّه‌ای که در حالت مذاب یا محلول رسانای الکتریکی است.
محلول الکترولیت	electrolyte solution	۹۲	محلولی از یک اسید، قلیا یا نمک که مولکول‌های آن به یون تجزیه می‌شود.
غیرالکترولیت	non-electrolyte	۹۲	مادّه‌ای که در حالت مذاب یا محلول در آب رسانای جریان برق نیست.
خواص کولیگاتیو	colligative properties	۹۴	خواصی از محلول‌ها که میزان آن تنها به تعداد ذره‌های موجود در محلول بستگی دارد.
فشار بخار	vapor pressure	۹۴	فشاری که بخار یک مایع روی سطح آن مایع وارد می‌کند.
نقطهٔجوش	bolling point	۹۵	دمایی که در آن فشار بخار مایع با فشار هواکره برابر شود.
نقطهٔانجماد	freezing point	۹۵	در فشار معین هر مایع در دمای معینی آغاز به انجماد می‌کند که آن را دمای انجماد آن مایع می‌گویند.
کلویید	colloild	۹۷	حالتی از مخلوط است که در آن ذره‌هایی به قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در یک فاز پیوسته (فاز پخش کننده) پراکنده شده‌اند.
اثر تیندال	Tyndall effect	۹۸	پراکندگی نور به‌وسیلهٔ ذره‌های ماده به هنگام عبور نور از میان آن
سوسپانسیون	Suspension	۹۸	نوعی مخلوط که یکی از اجزای آن پس از مدتی ته‌نشین می‌شود.
امولسیون	emulsion	۹۹	کلوییدی که از پراکنده شدن یک مایع در مایع دیگر ایجاد می‌شود.
حرکت براونی	brownian motion	۱۰۰	حرکت سریع و تصادفی ذره‌های کلوییدی که به کمک نور تابانیده شده بر زمینه‌ای تاریک قابل مشاهده است.
لخته‌شدن	coagulation یا flocculation	۱۰۱	تجمع ذره‌های معلق یک کلویید و ایجاد ذره‌هایی درشت‌تر با جرم بیشتر که موجب ته نشین شدن ذره‌ها و از بین رفتن کلویید می‌شود.
الکتروفورز	electrophoresis	۱۰۱	روشی برای جداسازی ذره‌های کلوییدی باردار در یک میدان الکتریکی
دیالیز	dialysis	۱۰۱	روشی برای جداسازی یون‌ها یا مولکول‌های موجود در یک محلول به کمک غشای نیمه‌تراوا

رسوب‌دهندهٔ کوترل

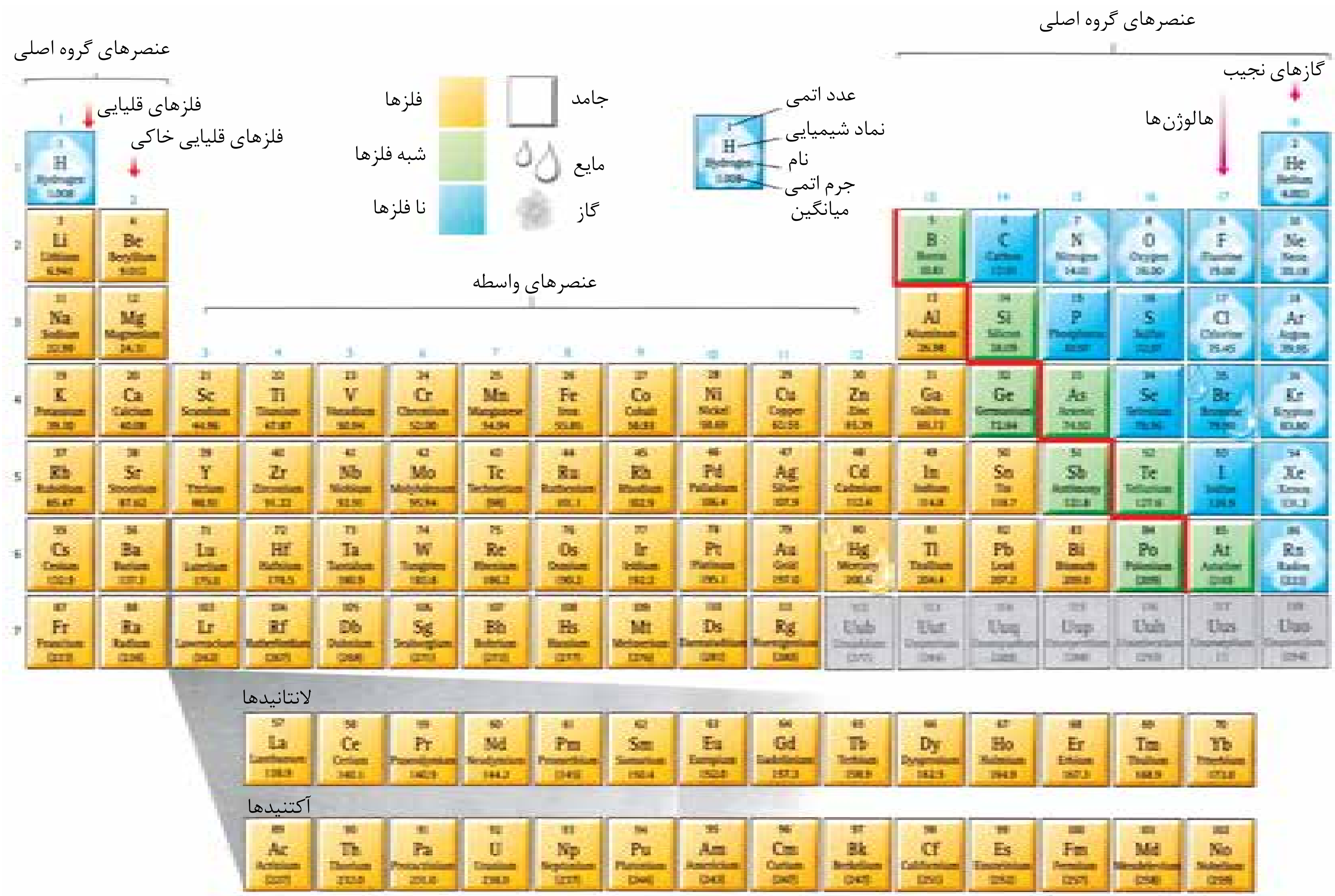
Cottrell precipitator ۱۰۲ دستگاهی صنعتی که با ایجاد یک میدان الکتریکی قوی باعث ته‌نشین شدن گرد و غبار موجود در هوای خروجی کارخانه می‌شود.

صابون soap ۱۰۲ به نمک سدیم، پتاسیم و آمونیوم اسیدهای چرب گفته می‌شود.

پاک کنندهٔ غیر صابونی (مواد مؤثر سطحی)

detergent (surfactant) ۱۰۳ ترکیب‌هایی که کشش سطحی آب را کاهش می‌دهند و به ایجاد کلویید چربی در آب کمک می‌کنند.

جدول تناوبی عنصرها



منابع و مآخذ

1 Kotz, Johc C. ; Treichel, Paul M.; Weaver, Gabriela C., chemistry & Chemical Reachvity , 2006, Thomson Brookskole.

2 Ebbinj, Darrell D.; Gammon, Skven D., General chemistry, 2009, Brookskole.

3 Tro, NivaldoJ., Principle & chemistry, A molecular Approache, 2010, Pearson.

4 Chang, R, ; Overby, J. General Chemistry the Essential concepts, 2008, Ryan Blankensip.

5 Russo, S.; Silver, M., Introductory Chemistry 2011, Prentice Hall.